

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID



FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA
OTORRINOLARINGOLOGÍA



**DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE AUDICIÓN
EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA.**

**PATRONES DE NORMALIDAD
DE LA TOTALIDAD DEL ESPECTRO AUDITIVO HUMANO.**

TESIS DOCTORAL

Antonio Rodríguez Valiente

HOSPITAL UNIVERSITARIO PUERTA DE HIERRO - MAJADAHONDA
SERVICIO DE OTORRINOLARINGOLOGÍA

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID



FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA
OTORRINOLARINGOLOGÍA



**DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE AUDICIÓN
EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA.**

**PATRONES DE NORMALIDAD
DE LA TOTALIDAD DEL ESPECTRO AUDITIVO HUMANO.**

DIRECTORES DE TESIS DOCTORAL

Dr. José Ramón García Berrocal

Profesor Asociado de la Universidad Autónoma de Madrid.
Médico Adjunto del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Universitario Puerta de Hierro Majadahonda.

Dra. María Almudena Trinidad Cabezas

Profesora Asociada de la Universidad Autónoma de Madrid.
Médico Adjunto del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Universitario Puerta de Hierro Majadahonda.

Madrid, 2015

**A mi madre,
A mi padre.**

CONTENIDOS

	Página
Lista de Tablas	iii
Lista de Figuras	iv
Abreviaturas	v
1. Introducción	1
1.1. Pérdida de audición	1
1.1.1. Datos y cifras	1
1.1.2. Causas de pérdida de audición	2
a. Genéticas	2
b. Adquiridas	2
1.1.3. Consecuencias de la hipoacusia	2
a. Consecuencia funcional	2
b. Consecuencias sociales y emocionales	2
c. Consecuencias económicas	3
1.1.4. Prevención	3
1.1.5. Detección y tratamiento	3
1.2. Generalidades sobre el sonido	3
1.2.1. Acústica	3
a. Caracterización física del sonido	4
b. Cualidades del sonido	4
c. Magnitud del sonido: El deciBelio	4
1.2.2. Psicoacústica	6
a. Percepción del sonido: Sonoridad	6
b. Diagrama de curvas isofónicas	6
1.3. Espectro auditivo humano	7
1.4. Umbral de audición	7
1.4.1. Unidades de medida: dB SPL y dB HL	7
1.4.2. Medición del umbral de audición: Audiometría	9
1.4.3. Material necesario para la audiometría	8
a. Cabina audiométrica	9
b. Audiómetro	9
c. Transductor del sonido	9
d. Audiograma	9
1.5. Estado actual de la audiometría clínica	10
1.5.1. Frecuencias convencionales	10
1.5.2. Extensión en altas frecuencias	10
2. Objetivos	13
2.1. Motivo del estudio	13
2.2. Hipótesis de trabajo	14
2.3. Objetivos	15

3. Material y Métodos	17
3.1. Material	17
3.1.1. Sujetos	17
3.1.2. Instrumental y procedimiento	18
3.2. Métodos	19
3.2.1. Audiometría y frecuencias testadas	19
3.2.2. Determinación del umbral de audición	19
3.2.3. Análisis estadístico	19
3.2.4. Análisis comparativo	20
4. Resultados	21
4.1. Frecuencias convencionales (125-8.000 Hz)	21
4.1.1. Umbrales de audición	21
4.1.2. Comparación con la ISO 7029 (2000)	23
4.2. Extensión en altas frecuencias (9.000–20.000 Hz)	29
4.2.1. Umbrales de audición	29
4.2.2. Comparación con estudios previos	35
4.2.3. Comparación de auriculares	35
5. Discusión	39
5.1. Frecuencias convencionales (125-8.000 Hz)	39
5.1.1. Umbrales de audición	39
5.1.2. Comparación con la ISO 7029 (2000)	40
5.1.3. Población con cribado y sin cribado auditivo	42
5.2. Extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz)	43
5.2.1. Umbrales de audición	43
5.2.2. Comparación con estudios previos	44
5.2.3. Comparación de auriculares	44
5.3. Aplicaciones prácticas	45
6. Conclusiones	47
Referencias bibliográficas	49
Apéndice	55
ANEXO 1	57
ANEXO 2	65
ANEXO 3	73
ANEXO 4	77
ANEXO 5	99
ANEXO 6	109
ANEXO 7	127

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Grados de pérdida de audición de acuerdo a diferentes clasificaciones.	1
Tabla 2. Clasificación de la hipoacusia neurosensorial	2
Tabla 3. Factores de corrección en las medidas con acoplador y oído artificial	8
Tabla 4. Umbrales de audición en frecuencias convencionales (125-8.000 Hz) para hombres. Media, mediana y desviación estándar	22
Tabla 5. Umbrales de audición en frecuencias convencionales (125-8.000 Hz) para mujeres. Media, mediana y desviación estándar	23
Tabla 6. Umbrales de audición en hombres. Se representan los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango de frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz)	24
Tabla 7. Umbrales de audición en mujeres. Se representan los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango de frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz)	25
Tabla 8. Umbrales de audición para ambos sexos en el rango de frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz). Se representa la media, mediana, desviación estándar y los percentiles 5 y 95	27
Tabla 9. Umbrales de audición en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 -20.000 Hz) en hombres, que se representan mediante la media, mediana y desviación estándar	29
Tabla 10. Umbrales de audición en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 -20.000 Hz) en mujeres, que se representan mediante la media, mediana y desviación estándar	30
Tabla 11. Umbrales de audición en hombres. Se representan los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango extendido de altas frecuencias (9.000 - 20.000 Hz)	31
Tabla 12. Umbrales de audición en mujeres. Se representan los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango extendido de altas frecuencias (9.000 - 20.000 Hz)	32
Tabla 13. Umbrales de audición para ambos sexos en extensión en altas frecuencias (9.000 -20.000 Hz). Media, mediana, desviación estándar, percentiles 5 y 95 para los distintos grupos de edad, y el porcentaje de sujetos que responden al menos a la intensidad más alta presentada.	33
Tabla 14. Propuesta de unos RETSPL comunes para todos los auriculares utilizados en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9-16 kHz).	37

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación gráfica y parámetros que definen la onda sonora	4
Figura 2. Nivel de Presión Sonora en Pascales y en dB SPL.	5
Figura 3. Diagrama de curvas isofónicas según la norma ISO 226 (2003).	6
Figura 4. Transformación de unidades audiométricas dB SPL en dB HL	8
Figura 5. Media de los umbrales de audición en hombres en las frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz)	26
Figura 6. Media de los umbrales de audición en mujeres en las frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz)	26
Figura 7. Media de los umbrales de audición en hombres, valorando todos los grupos de edad en su conjunto. Se comparan los hombres de la representación de la población española con los de la norma ISO 7029 (2000)	28
Figura 8. Media de los umbrales de audición en mujeres, valorando todos los grupos de edad en su conjunto. Se comparan las mujeres de la representación de la población española con las de la norma ISO 7029 (2000)	28
Figura 9. Umbrales de audición en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9-20 kHz) representados mediante diagrama de cajas.	34
Figura 10. Media de los umbrales de audición en función del sexo para cada grupo de edad en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9-20 kHz).	36

ABREVIATURAS

ANSI:	American National Standards Institute
ASHA:	American Speech-Language-Hearing Association
CHABA:	Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics
CHARGE:	Coloboma, cardiopatía, atresia coana, retraso desarrollo, hipoplasia genital, alteración oído
BIAP:	Bureau International d'Audiophonologie
dB:	deciBelio
EAF:	Extensión en altas frecuencias.
EHF:	Extended-high frequencies
EU:	European Working Group on Genetics and Hearing Impairment
FC:	Frecuencias convencionales
EVA:	Enlarged vestibular aqueduct
HL:	Hearing Level
HNS:	Hipoacusia neurosensorial
HTL:	Hearing Threshold Level
Hz:	Hercio, hertzio o hertz
I:	Intensidad sonora
ISO:	International Organization for Standardization
kHz:	KiloHercio (1000 Hz)
Li:	Nivel de intensidad sonora
Lp:	Nivel de presión sonora
Lw:	Nivel de potencia sonora
m:	Metro
NPL:	National Physical Laboratory
OMS:	Organización Mundial de la Salud
P:	Presión sonora
Pa:	Pascal
RETSPL:	Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Levels Niveles de Referencia Equivalentes de Presión Acústica Liminar
RNA:	Ácido ribonucleico
s:	Segundo
SPL:	Sound Pressure Level
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences
TORCH:	Toxoplasmosis, rubéola, citomegalovirus, herpes simple y otros
W:	Potencia sonora
WHO:	World Health Organization

1. INTRODUCCIÓN

Resumen:

La hipoacusia tiene una elevada prevalencia. Puede ser genética o adquirida, congénitas o tardías, aislada o sindrómica. La hipoacusia tiene graves consecuencias, siendo éstas más graves en los niños, ya que interfiere en su desarrollo cognitivo, de ahí su importancia tanto en la prevención como en un tratamiento adecuado.

La acústica estudia el sonido como onda. La psicoacústica estudia la percepción del sonido por el ser humano.

El espectro auditivo del ser humano engloba aquellas frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz. A las frecuencias desde 125 hasta 8.000 Hz se les denomina frecuencias convencionales y son las que se miden en la práctica clínica habitual, estando más implicadas en el entendimiento de la palabra. A las frecuencias entre 9.000 y 20.000 Hz se les denomina extensión en altas frecuencias y se ha comprobado que pueden ser útiles en la detección precoz de la hipoacusia en sujetos expuestos a fármacos ototóxicos o ruidos intensos, y en sorderas progresivas.

1.1. PÉRDIDA DE AUDICIÓN

1.1.1. Datos y cifras

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS; *World Health Organization, WHO*), la pérdida de audición o hipoacusia ocupa el tercer lugar como patología que implica años de vida con discapacidad (WHO, 2006). Más del 5% de la población mundial padece pérdida de audición discapacitante (WHO, 1991; WHO, 2000a), entendiendo como discapacitante una pérdida de audición superior a 40 dB en el oído con mejor audición en los adultos, y superior a 30 dB en los niños (Tabla 1). La OMS estimó que en el año 2005 había 210 millones de adultos y 68 millones de niños con hipoacusia discapacitante. Además se calcula que otros 364 millones de personas presentan una hipoacusia moderada

(WHO, 2006). Aproximadamente una tercera parte de las personas mayores de 65 años padece pérdida de audición discapacitante (WHO, 2000a).

Además de que la prevalencia de personas con hipoacusia aumenta progresivamente con la edad (Stevens *et al.*, 2013), tenemos que tener en cuenta que con el envejecimiento de la población, el número de personas con pérdida de audición aumentará con el tiempo debido a la mayor esperanza de vida. Todo esto nos indica la gran importancia que tiene tanto la prevención como el tratamiento de la hipoacusia.

Tabla 1. Grados de pérdida de audición de acuerdo a diferentes clasificaciones. Los valores se corresponden con el valor promedio en las frecuencias 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz en el oído mejor. Los valores están expresados en dB HL.

Categoría	WHO	EU	BIAP	ASHA
Normal	≤ 25 dB	≤ 20 dB	≤ 20 dB	≤ 15 dB
Ligera				16-25 dB
Leve	26-40 dB	21-39 dB	21-40 dB	26-40 dB
Moderada	41-60 dB	40-69dB	41-70 dB	41-55 dB
Moderada-Severa				56-70 dB
Severa	61-80 dB	70-94 dB	71-90 dB	71-90 dB
Profunda	≥ 81 dB	≥ 95 dB	≥ 91 dB	≥ 91 dB

WHO, *World Health Organization*

EU, *European Working Group on Genetics and Hearing Impairment*

BIAP, *Bureau International d'Audiophonologie*

ASHA, *American Speech-Language-Hearing Association*

1.1.2. Causas de pérdida de audición

a. Genéticas

Son el resultado de un factor heredado, que puede ser una alteración genética aislada o acompañada de una serie de alteraciones y perteneciente a un síndrome. Se puede manifestar desde el momento del nacimiento o de una forma más tardía (Tabla 2).

b. Adquiridas

Pueden manifestarse de forma congénita, lo que determina una pérdida de audición adquirida durante la vida intrauterina. La hipoacusia se presenta en el momento del nacimiento o poco después. Los agentes causantes generalmente son factores físicos (radiación, bajo peso al nacer, hipoxia), químicos (medicamentos ototóxicos durante el embarazo, ictericia grave durante el período neonatal) o infecciosos (rubéola, sífilis u otras infecciones durante el embarazo).

También se puede manifestar de forma tardía, provocando la pérdida de audición a cualquier edad. Puede estar causada por enfermedades infecciosas (meningitis, sarampión y parotiditis), infección aguda o crónica del oído, uso de medicamentos ototóxicos (aminoglucósidos, medicamentos citotóxicos, antipalúdicos y diuréticos), traumatismos craneoencefálicos, exposición a ruido excesivo o la pérdida de audición relacionada con el envejecimiento (presbiacusia).

1.1.3. Consecuencias de la hipoacusia

La audición es un canal de entrada de información esencial para el desarrollo cognitivo, lingüístico y social en el ser humano (Gerhardt, 1992; Sastre i Riba, 2008).

El oído es el órgano inmediato de la comprensión, es el que recibe la palabra, que no corresponde sino al hombre, y que es la expresión de todas las conveniencias de la naturaleza y de todas las pesadumbres del corazón (Naval, 1797).

a. Consecuencia funcional

La principal consecuencia de la pérdida de audición es la limitación en la comunicación con los demás, siendo más grave en los niños ya que se suele acompañar de un retraso en el habla o afectando el rendimiento escolar (Löhle *et al.*, 1999). Hablar es la principal consecuencia funcional de la audición. Nadie aprende a leer y escribir si previamente no ha aprendido a hablar.

El oído es el único sentido que vela en nuestra conservación en las tinieblas de la noche. Él nos advierte de todo ruido, para que nos apartemos y no peligremos (Naval, 1797).

b. Consecuencias sociales y emocionales

La principal característica distintiva del ser humano es el lenguaje, y éste va a depender de la existencia de una audición previa. La hipoacusia supone una falta de entrada de información que

Tabla 2. Clasificación de la hipoacusia neurosensorial.

	Genética		Adquirida	
	Congénita	Tardía	Congénita	Tardía
Pura	Displasia Mondini Aplasia Michel Bing-Siebenmann Scheibe Alexander Conexina Otorfelina	Otosclerosis coclear Manasse HNS familiar progresiva rRNA mitocondrial	Ototóxicos Virus	Meningitis Ototóxicos Neoplasias Traumatismos Ménière Autoinmune Vasculitis
Sindrómica	Waardenburg Pendred Jervell-Lange-Nielsen Usher CHARGE Albinismo EVA	Alport Crouzon Klippel-Feil Neurofibromatosis II Mucopolisacaridosis Refsum Alstrom EVA	TORCH Hipotiroidismo Anoxia Prematuridad	Cogan

afecta al desarrollo, dando lugar a dificultades de aprendizaje o conducta social. Los problemas de comunicación tienen efectos importantes en la vida cotidiana, genera sensación de soledad, aislamiento y frustración, sobre todo en las personas mayores (Sastre i Riba, 2008).

Pero el oído se encarga además de percibir otro idioma: la música, con el poder incomprensible que tiene de calmar y de excitar las pasiones de un modo independiente de la razón, y de hacer renacer las afecciones sublimes, libres de toda percepción intelectual (Naval, 1797).

c. Consecuencias económicas

En los países en desarrollo, los niños con pérdida de audición y sordera rara vez son escolarizados. En los adultos con pérdida de audición, la tasa de desempleo es mucho más alta y ocupan puestos de categoría inferior. Además de las consecuencias económicas individuales que ocasiona, la pérdida de audición repercute considerablemente en el desarrollo socio-económico de las comunidades y los países (Ruben, 2000; WHO, 2000b).

1.1.4. Prevención

La mitad de los casos de sordera se pueden prevenir si las causas comunes se atienden en el nivel de la atención primaria de salud (WHO, 2006). Algunas estrategias de prevención sencillas consisten en:

- Vacunar contra el sarampión, meningitis, rubéola y parotiditis.
- Detectar y tratar la sífilis.
- Mejorar la atención prenatal y perinatal.
- Evitar el uso de medicamentos ototóxicos.
- Remitir al servicio de otorrinolaringología a los niños que presentan alto riesgo de sordera: los que tienen antecedentes familiares de sordera, los que han nacido con bajo peso o han sufrido asfixia, ictericia o meningitis en el parto.
- Reducir la exposición a ruidos fuertes (tanto en el trabajo como en actividades recreativas) mediante la sensibilización de la población, la utilización de dispositivos de protección personal y el desarrollo y aplicación de legislación apropiada.

1.1.5. Detección y tratamiento

La detección e intervención tempranas son los factores más importantes para minimizar las consecuencias de la pérdida de audición (cribado neonatal).

La situación de las personas que padecen pérdida de audición puede mejorar con la utilización de dispositivos tales como audífonos e implantes cocleares, el empleo de subtítulos, el aprendizaje del lenguaje de signos y de la lectura labial, y el apoyo educativo y social.

1.2. GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO

El sonido se puede estudiar desde un punto de vista físico y desde un punto de vista psicoacústico. La física, y en concreto la acústica, estudia el sonido como una forma de energía, como una onda. La psicoacústica estudia la percepción que tiene el ser humano de la energía acústica, donde la intensidad de un sonido se va a corresponder con la sensación que produce en el sujeto, que será por tanto relativa.

1.2.1. Acústica

Desde el punto de vista de la física, el sonido es energía mecánica que se propaga a través de un medio elástico mediante la vibración de las partículas de ese medio, y que se caracteriza como ondas. Las vibraciones experimentadas por las partículas del medio producen variaciones de presión que son captadas por los órganos adecuados.

a. Caracterización física del sonido

Amplitud: Es el valor máximo del movimiento de una onda.

Periodo: Es el tiempo que se tarda en realizar una vibración completa o ciclo. Se mide en segundos (s).

Frecuencia: Es el número de oscilaciones completas (ciclos) que se producen en la unidad de tiempo (1s). Es, por tanto, la inversa del período. Se mide en Hercios (Hz).

Longitud de onda: La distancia que recorre una onda sonora en el tiempo de un período.

Velocidad del sonido: La velocidad de propagación del sonido es la velocidad con que se desplazan las ondas sonoras (Fig. 1).

b. Cualidades del sonido

Tono: Los sonidos se pueden clasificar como graves, medios o agudos, y está relacionado con la frecuencia. A mayor frecuencia, el tono es más agudo.

Intensidad: Es la propiedad que hace que el sonido se capte como fuerte o débil. Está relacionada con la intensidad de la onda acústica, es decir, con la cantidad de energía que está fluyendo por el medio como consecuencia de la propagación de la onda sonora.

Timbre: Depende del número, intensidad y frecuencia de los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental, que es la que caracteriza al sonido. Los armónicos son sonidos producidos naturalmente por la resonancia de un sonido fundamental, y son los que permiten diferenciar un tipo de instrumento musical de otro, o reconocer el timbre de voz de una persona.

c. Magnitud del sonido: El deciBelio

Medir es comparar el valor de una magnitud con el de otra tomada como valor de referencia. El Pascal (Pa) es la unidad de presión en el Sistema Internacional, y se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre una superficie de 1 m².

El ser humano es capaz de detectar intensidades a partir de 0,00002 Pa (20 µPa). El límite superior tolerable serían 63 Pa, y 200 Pa produciría un trauma acústico. Representar gráficamente en Pascales este margen tan amplio de audición sería difícil. Por eso, para medir estas magnitudes no se suele utilizar el Pascal, por el amplio margen que hay entre la sonoridad más débil y la más intensa (entre 20 µPa y 200 Pa), ya que este se mide en una escala lineal (Fig. 2). Además, en acústica no es la intensidad real lo importante, sino su comparación con otras intensidades, por lo que para medir un sonido se utiliza una escala logarítmica, cuya unidad es el Belio; en tanto que el oído tiene también una respuesta logarítmica. Si la intensidad inicial I_1 se incrementa hasta un nuevo valor I_2 , se tiene una relación en Belios:

$$\text{Belio} = \log I_2 / I_1$$

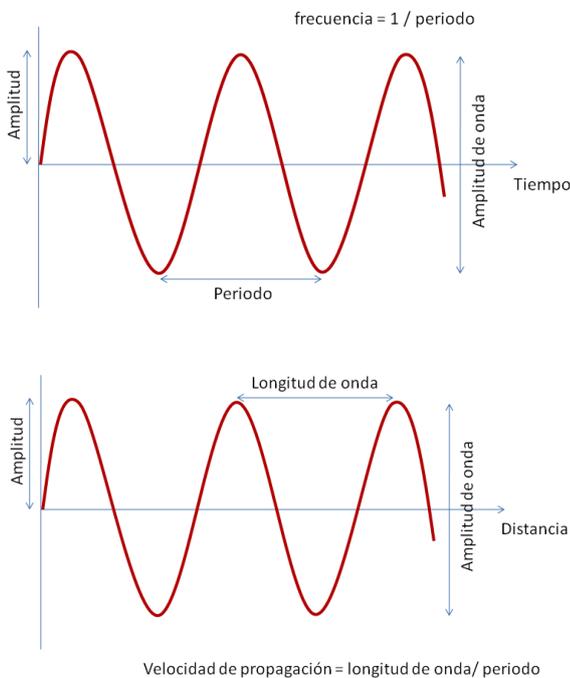


Figura 1. Representación gráfica y parámetros que definen la onda sonora.

En la práctica, el Belio es demasiado grande y por ello se emplea el deciBelio (dB). La relación en deciBelios será entonces:

$$dB = 10 \log I_2 / I_1$$

El deciBelio es adimensional y relativo, por lo que para medir valores absolutos se necesita especificar a que unidades está referido.

Para medir lo fuerte o débil que es un sonido se utilizan diferentes magnitudes: *Presión*, *Intensidad* y *Potencia sonora*. De tal forma que, midiendo *presión*, *intensidad* y *potencia sonora* en dB tenemos:

Nivel de presión sonora (Lp):

$$Lp = 20 \log P/P_0$$

siendo P la presión sonora instantánea, y P₀ la presión de referencia. El logaritmo se multiplica por 20 que es una constante establecida para calcular niveles de presión.

El nivel de presión sonora en dB de una presión aislada carece de sentido puesto que hay que especificar la presión P₀ de referencia, puesto que el concepto de nivel se basa en el cálculo logarítmico de un cociente de dos magnitudes. (Bonavida Estupiñá, 2005).

Cuando la presión de referencia es de 0,00002 Pa (20 µPa), que es la mínima presión sonora audible por un oyente estadístico a la frecuencia de 1.000 Hz, el nivel de una presión se expresa en deciBelio *Sound Pressure Level* (dB SPL) sin necesidad de nombrar la presión de referencia, puesto que con las siglas SPL ya se sobreentiende que la presión estándar de referencia ha sido 20 µPa.

En el caso de que la presión P coincida con P₀ el nivel de presión sonora (en dB) será:

$$20 \times \log P_0/P_0 = 20 \times \log 1 = 0 \text{ dB}$$

Por lo tanto el nivel en dB de 20 µPa es de 0 dB SPL.

Nivel de intensidad sonora (Li):

$$Li = 10 \log I/I_0$$

donde I es la intensidad sonora, e I₀ es un nivel de referencia (10⁻¹² W/m²) que se considera como el umbral de audición. Para el oído humano el umbral de audición, para una frecuencia de 1.000 Hz, es 10⁻¹² W/m², y el umbral de dolor es de aproximadamente 1 W/m².

Nivel de potencia sonora (Lw):

$$Lw = 10 \log W/W_0$$

donde W es la potencia sonora, y W₀ es la potencia umbral de audición (10⁻¹² W).

La unidad más utilizada en audiología es el *nivel de presión sonora*, aunque en ocasiones se equipara con el *nivel de intensidad sonora*. El *nivel de presión sonora*, que se mide en dB SPL, determina el nivel de presión que realiza la onda sonora en relación a un nivel de referencia que es 20 µPa en el aire (Fig. 2).

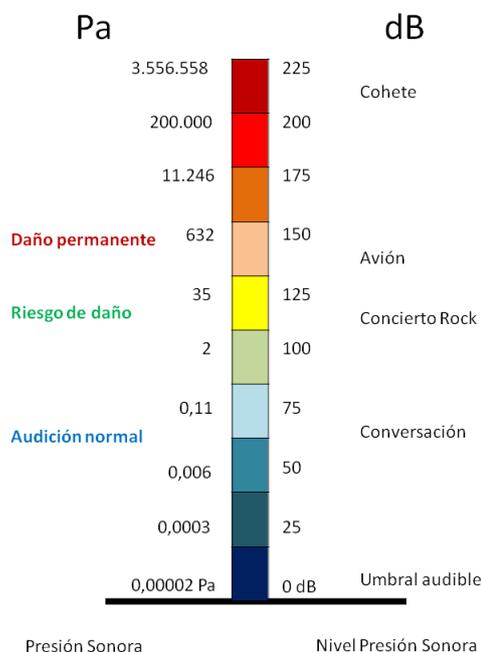


Figura 2. Nivel de Presión Sonora en Pascales y en dB SPL.

1.2.2. Psicoacústica

La psicoacústica es la ciencia que estudia la relación entre los sonidos físicos y la interpretación que el ser humano hace de ellos. Un sonido es una onda acústica capaz de producir una sensación.

a. Percepción del sonido: Sonoridad

Entendemos por sonoridad la capacidad de un sonido para producir una sensación sonora en el cerebro. Es el atributo que permite ordenar los sonidos en una escala del más fuerte al más débil. Está vinculada a la intensidad del sonido, pero también a su frecuencia y a la duración del sonido. Se mide en fonios.

El oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias. Necesita más energía para percibir las frecuencias más graves y las más agudas; y menos energía (es decir, es más sensible) para percibir las frecuencias entre 500 y 4.000 Hz, que son las frecuencias que se corresponden en gran medida con el espectro de la voz humana.

b. Diagrama de curvas isofónicas

Para representar gráficamente las variaciones en la sonoridad en cada una de las frecuencias se utiliza el diagrama de curvas isofónicas (Fig. 3), donde cada curva representa el nivel en dB SPL necesarios para obtener el mismo nivel de sensación sonora. Las primeras curvas de sonoridad fueron establecidas por Fletcher y Munson en 1933, y recalculadas más tarde por Robinson y Dadson en 1956. La curva de 0 fonios se corresponde con el umbral de audición y la curva de 120 fonios con el umbral del dolor. A 1.000 Hz los valores en fonios coinciden con los valores en dB. Estas curvas van a variar dependiendo de la orientación del sonido, de si se hace en campo libre o mediante la utilización de auriculares y también del tipo de auricular que se utilice. En la norma ISO 226 (*International Organization for Standardization, 2003*) se establecen las líneas isofónicas normales para tonos puros en condiciones de escucha en campo libre.

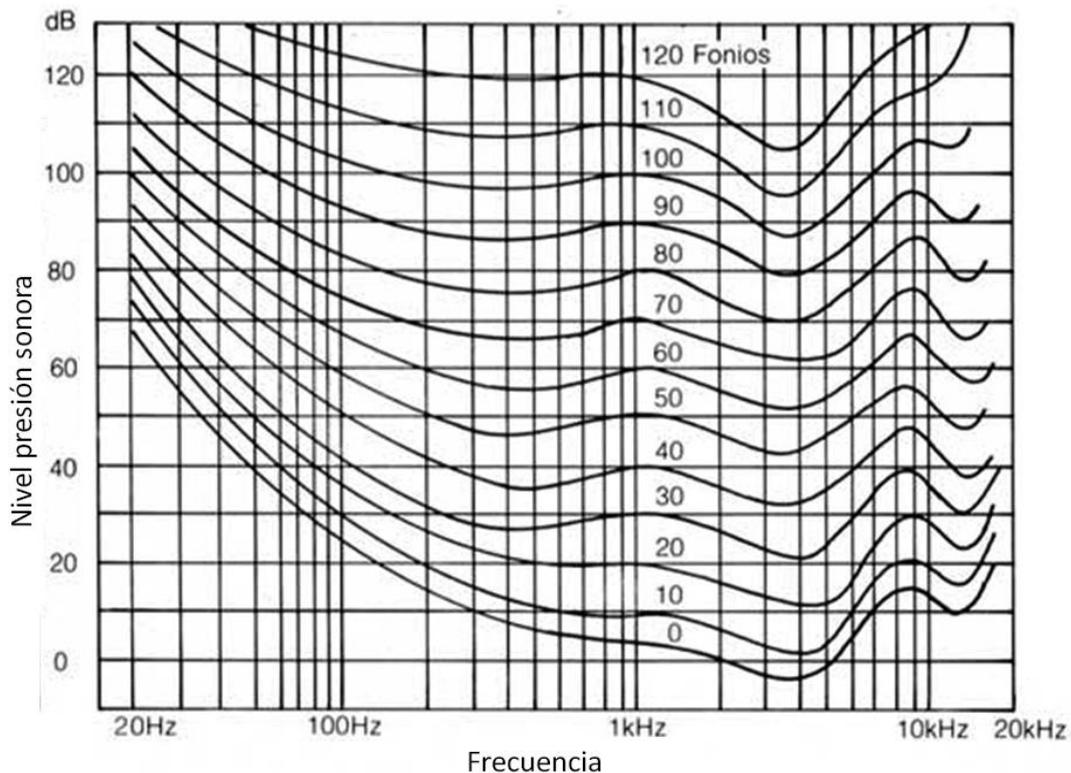


Figura 3. Diagrama de curvas isofónicas según la norma ISO 226 (2003).

1.3. ESPECTRO AUDITIVO HUMANO

No toda variación periódica de la presión ambiental (presión acústica) es perceptible como sonido por el ser humano. El espectro de la audición del ser humano engloba un rango de frecuencias muy amplio, desde los 20 Hz hasta los 20.000 Hz. A los sonidos con frecuencias inferiores a 20 Hz se les denomina infrasonidos, y a los sonidos con frecuencias superiores a 20.000 Hz se les denomina ultrasonidos.

Las frecuencias que componen el espectro auditivo humano se pueden dividir en:

Frecuencias convencionales (FC):

- Frecuencias bajas: 125 - 250 Hz.
- Frecuencias medias: 500 - 1.000 Hz.
- Frecuencias altas: 2.000 - 8.000 Hz.

Extensión en Altas Frecuencias (EAF):

Para referirse a las frecuencias comprendidas entre 9.000 y 20.000 Hz se utilizan diversos términos. Algunos autores utilizan el término *audiometría de alta frecuencia* (Doménech Oliva, 2005; Lasso de la Vega Zamora, 2012). En la versión en español

de la norma IEC 60318-2 (2009) se utiliza el término *audiometría en la gama de alta frecuencia extendida*, y en la versión en español de la norma IEC 60645-4 (1994) se utiliza el término *audiometría extendida al dominio de la alta frecuencia*. Podemos encontrar otros términos como *extensión a alta frecuencia* (Ruiz González, 2002) o *rango extendido de alta frecuencia y audiometría extendida de alta frecuencia* (Hinalaf, 2013). Como se puede apreciar hay gran variedad de términos, siendo todos ellos semejantes y sinónimos.

Para evitar confundir lo que comúnmente se denomina *frecuencias altas* (2.000 – 8.000 Hz) de las frecuencias a partir de 9.000 Hz, podría ser oportuno emplear el término *extensión a altas frecuencias* o *extensión en altas frecuencias* (EAF), que además es el que más se parece al término aceptado internacionalmente en inglés, *extended-high frequencies* (EHF). Este rango audiométrico comprende las siguientes frecuencias: 9.000, 10.000, 11.200, 12.500, 14.000, 16.000, 18.000 y 20.000 Hz.

1.4. UMBRAL DE AUDICIÓN

La intensidad a la que se oye en cada una de las frecuencias antes mencionadas no es la misma para todas las personas. Varía dependiendo de la edad, y además se puede ver afectada por la exposición a agentes externos, como son el ruido o fármacos potencialmente ototóxicos.

El umbral de audición es el nivel mínimo de presión sonora que permite a un oyente detectar un sonido 71 de cada 100 veces que se le presenta, en ausencia de otros sonidos. Este umbral es diferente para diferentes sonidos, y depende de factores como la duración del estímulo sonoro, la sensibilidad auditiva del oyente, o la exposición previa y prolongada del oyente a algún otro sonido.

1.4.1. Unidades de medida: dB SPL y dB HL

Cuando se mide el umbral de audición lo que realmente se está calculando es el nivel de presión sonora, cuya medida se hace en dB SPL.

El oído humano no percibe por igual todas las frecuencias, es decir, es más sensible en las frecuencias comprendidas entre 500 y 4.000 Hz, necesitando una mayor intensidad de sonido para oír las frecuencias más bajas y las más altas. Si la medición del umbral auditivo se calculase en dB SPL, la audición normal se representaría como una línea curva, lo que dificultaría su interpretación, y en el caso de ser patológica sería difícil cuantificar la pérdida de audición.

INTRODUCCIÓN

Para facilitar el trabajo lo que se hizo fue normalizar la escala SPL y se creó la escala en deciBelios *Hearing Level* (dB HL). Para ello se midió la audición en más de más de 500 sujetos sin patología auditiva con edades comprendidas entre los 18 y 30 años, utilizando determinados auriculares. Estos valores están recogidos en la norma ISO 389-1 (1998).

De esta forma se iguala en cada frecuencia a 0 dB HL los dB SPL correspondientes al nivel mínimo de energía necesario para que el sonido pueda ser percibido por el oído humano (Fig. 4). Los valores en dB SPL que se corresponden con 0 dB HL en cada frecuencia son denominados *Niveles de Referencia Equivalentes de Presión Acústica Liminar* (*Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Level, RETSPL*).

Los valores establecidos en la norma ISO 389-1 aportan los RETSPL para un número limitado de auriculares. Los auriculares más utilizados para la medición de las FC (125-8.000 Hz) son los auriculares TDH-39, cuyos RETSPL para tonos puros por vía aérea medidos en acoplador (IEC 60303: 1970) y en oído artificial (IEC 60318: 2009) se representan en la Tabla 3.

Tabla 3. Factores de corrección en las medidas con acoplador¹ y oído artificial².

Frecuencia (Hz)	RETSPL ¹	RETSPL ²
125	45	45
250	25,5	27
500	11,5	13,5
1.000	7	7,5
2.000	9	9
4.000	9,5	12
8.000	13	15,5

Los audiómetros clínicos están calibrados para hacer la medición en dB HL en las FC. Sin embargo para la audiometría con EAF (9.000 – 20.000 Hz) no se dispone de una normalización de la escala SPL en dB HL, sino que todas las medidas se hacen en dB SPL.

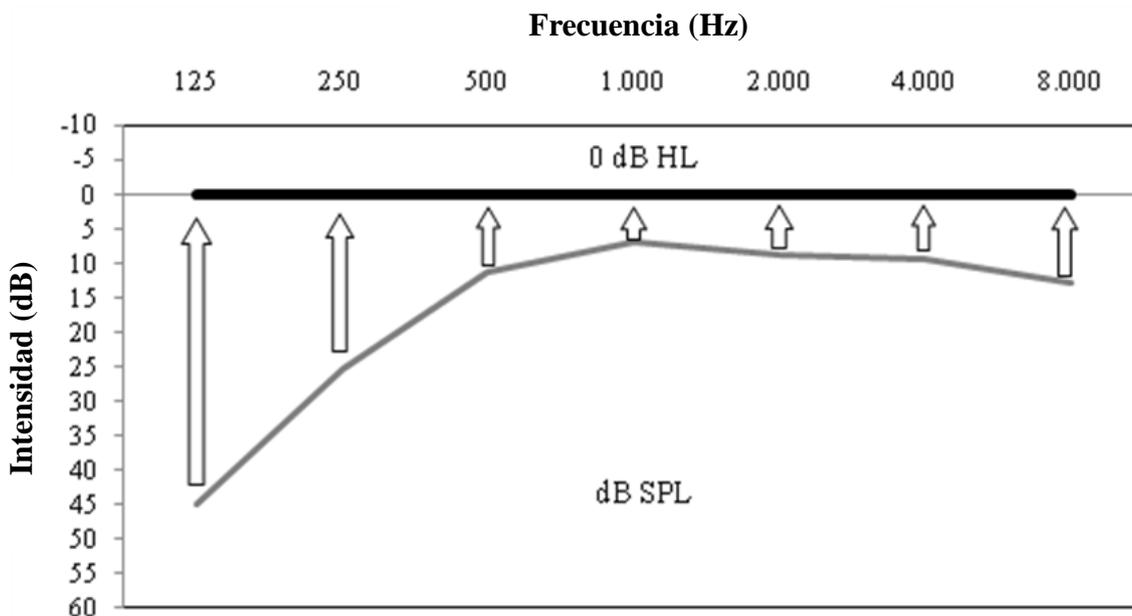


Figura 4: Transformación de unidades audiométricas dB SPL en dB HL.

1.4.2. Medición del umbral de audición

La audiometría consiste en la medición del umbral de audición en cada una de las frecuencias. En la práctica clínica habitual solo se realiza la audiometría en FC (125 - 8.000 Hz); y en muy pocos centros se hace hasta el momento la audiometría con EAF (9.000 - 20.000 Hz).

Existen diferentes métodos establecidos para realizar la audiometría, siendo todos ellos comparables y con resultados superponibles. Los métodos de medida más utilizados son la *técnica modificada de Hughson-Westlake*, el *método ascendente* y el *método por encuadre* establecidos en la norma ISO 8253-1 (2010), el *método de horquillado* de la ASHA (*American Speech-Language-Hearing Association*, 1978), y el método descrito en ANSI S3.21-2004 (*American National Standards Institute*).

1.4.3. Material necesario para la audiometría

a. Cabina audiométrica

La cabina audiométrica es un receptáculo, construido con distintos materiales, donde se le introduce al sujeto a estudio para realizar la audiometría, con un menor nivel de ruido exterior. Tanto las dimensiones como el nivel máximo de ruido que puede haber dentro de la cabina están regulados por normas internacionales (ISO 11957: 1996). La audiometría también se puede realizar en una habitación adecuadamente insonorizada que cumpla los requisitos.

b. Audiómetro

El audiómetro es un instrumento dotado de un generador de sonido (tonos puros), y un potenciómetro que genera intensidades que van desde -10 dB hasta los 120 dB. Existen distintos modelos de audiómetros, unos útiles solo para la audiometría en FC, y otros también para la

audiometría con EAF. Todos los audiómetros deben de cumplir una serie de requisitos en cuanto a calibración, estando estos requisitos establecidos en las partes 1 a 8 de la norma ISO 389.

c. Transductor del sonido

La audiometría se puede realizar en campo abierto, estando el sujeto a una distancia determinada de unos altavoces. Pero lo más habitual es realizar la audiometría utilizando auriculares.

Existen tres tipos principales de auriculares: *supra-aurales*, *circumaurales* y de *inserción*. Los más utilizados en la audiometría en FC son los supra-aurales Telephonics TDH-39, que junto a los Beyer DT 48, son los únicos regulados por la norma ISO 389-1 (1998). Sin embargo, los auriculares utilizados para la audiometría con EAF presentan gran diversidad, siendo la mayoría de ellos circumaurales o de inserción debido a las características de las ondas de alta frecuencia. Esta gran variedad de auriculares utilizados en la audiometría con EAF ha originado diversos trabajos para intentar establecer distintos niveles de referencia con cada uno de ellos.

d. Audiograma

El audiograma es la representación gráfica de la audiometría. En el eje de abscisas se representan las frecuencias (en Hz o en kHz), comenzando a la izquierda las frecuencias menores, y aumentando progresivamente hacia la derecha. En el eje de ordenadas se representa la intensidad (en dB). En nuestro medio, y en la práctica clínica, las intensidades menores se representan en la parte alta de la gráfica, aumentando la intensidad a medida que descendemos en la gráfica; sin embargo a nivel experimental se suele representar de forma inversa, siendo la intensidad mayor a medida que ascendemos en la gráfica. Tanto la intensidad como la frecuencia representan una escala logarítmica.

1.5. ESTADO ACTUAL DE LA AUDIOMETRÍA

1.5.1. Frecuencias convencionales

En la práctica clínica habitual solo se miden las frecuencias que van desde 125 Hz hasta 8.000 Hz, llamadas *frecuencias convencionales* (FC). Muchos autores han publicado umbrales de audición para varias poblaciones (Robinson y Sutton 1978, 1979), con la finalidad de establecer un estándar que ayude a la interpretación de los audiogramas en el rango de las FC. La norma ISO 7029 (2000) establece una distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad, especificando el valor medio esperado de los umbrales de audición con respecto al umbral de audición medio a la edad de 18 años; y la distribución estadística esperada por encima y por debajo del valor medio.

La desviación del umbral de audición definida en la ISO 7029 refleja el umbral de audición de un sujeto con relación al umbral medio de audición de un grupo de personas de 18 años. Sin embargo la norma ISO 7029 está basada exclusivamente en el trabajo de la *National Physical Laboratory* (Teddington, Reino Unido), y tiene diversos elementos que la hacen difícil de manejar.

Los umbrales de audición en función de la edad también se han establecido en la norma ISO 1999 (2013). En el *Anexo A* se establecen los valores para una población cribada auditivamente. Estos valores son los mismos que la ISO 7029. En el *Anexo B* se utiliza una población no cribada auditivamente. La norma ISO 7029 establece los criterios para definir a una población como otológicamente normal, también llamada altamente cribada o seleccionada.

Utilidad de la audiometría en FC:

Las FC son las únicas utilizadas en la práctica clínica habitual. Se dispone de unos valores estándar en los que están calibrados todos los dispositivos empleados en su medida. Estas frecuencias son las que se utilizan para decir si la audición de una persona es normal, o si por el contrario presenta algún tipo de hipoacusia, y en qué grado (Tabla 1).

El entendimiento de la palabra se relaciona directamente con las FC. A estas frecuencias se les atribuye la mayor importancia, puesto que el mayor componente acústico de las vocales y las consonantes está en las frecuencias de 500 a 3.000 Hz (Rodríguez Valiente *et al.*, 2009; ANEXO 1).

1.5.2. Extensión en altas frecuencias

Las frecuencias comprendidas entre 9.000 Hz y 20.000 Hz son denominadas en la literatura internacional como *extended-high frequencies* (EHF). En castellano utilizaremos el término *extensión en altas frecuencias* (EAF).

Hasta el momento estas frecuencias son muy poco utilizadas, y casi siempre a nivel experimental; aunque se están empezando a utilizar en la práctica clínica dada su utilidad en la detección precoz de ciertas patologías que cursan con pérdida de audición, como es la exposición a ruido (Fausti *et al.*, 1981; Hansen *et al.*, 1993; Schmuziger *et al.*, 2007; Somma *et al.*, 2008), la ototoxicidad en los pacientes con tratamientos con quimioterápicos de la familia del cisplatino (Fausti *et al.*, 1994; Knight *et al.*, 2007; Riss *et al.*, 1999; Wright y Schaefer, 1982), y las sorderas progresivas (Schrijver, 2004).

Muchos autores han llevado a cabo estudios con el fin de determinar patrones de normalidad en diferentes grupos de edad (Ahmed *et al.*, 2001; Beiter y Talley, 1976; Burén *et al.*, 1992; De Seta *et al.*, 1985; Fausti *et al.*, 1979; Fausti *et al.*, 1981; Frank, 1990; Green *et al.*, 1987; Groh *et al.*, 2006; Hallmo *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2012; Matthews *et al.*, 1997; Osterhammel y Osterhammel, 1979; Reuter *et al.*, 1998; Rosen *et al.*, 1964; Sakamoto *et al.*, 1998; Schechter *et al.*, 1986; Stelmachovicz *et al.*, 1989; Stenklev y Laukli, 2004; Wiley *et al.*, 1998). Cada estudio ha utilizado un instrumental diferente y diferentes procedimientos de medida, así como grupos de edad muy variables y con distintas características.

La audiometría con EAF se miden en dB SPL, puesto que no se dispone de valores de referencia en dB HL. Además es muy amplia la variedad de transductores que se han empleado para su medida, siendo los más frecuentemente utilizados los auriculares circumaurales y los de inserción.

Utilidad de la audiometría con EAF:

La audiometría con EAF no se realiza de forma habitual en la práctica clínica debido a que no se dispone de unos valores estándar, y a la gran variabilidad interindividual (Reuter *et al.*, 1998). Sin embargo, el uso rutinario de la audiometría con EAF cada vez va a ser más frecuente por varias razones:

1. La utilidad de la audiometría con EAF para monitorizar el efecto ototóxico producido por ciertos fármacos, especialmente quimioterápicos como el cisplatino, está relativamente bien aceptado, existiendo incluso diversos protocolos de medida (Fausti *et al.*, 1999). La audiometría con EAF es más sensible al daño inicial producido por los fármacos ototóxicos (Fausti *et al.*, 1994), antes de que el daño llegue a afectar a las FC (Knight *et al.*, 2007; Rodríguez Valiente *et al.*, 2015b; ANEXO 2). El uso de estas frecuencias está siendo cada vez más recomendado (ASHA, 1994).

2. El objetivo de los programas de conservación de la audición es detectar cambios en la cóclea inducidos por el ruido tan pronto como sea posible (Schmuziger *et al.*, 2007). El uso de la audiometría con EAF para monitorizar los efectos adversos del ruido no está del todo aceptado (Schmuziger *et al.*, 2007), aunque se ha propuesto que, en ambientes ruidosos, la EAF tiene mayor utilidad que las FC en la detección de la pérdida de audición inducida por ruido (Rodríguez Valiente *et al.*, 2015b; ANEXO 2), especialmente en sujetos jóvenes (Somma *et al.*, 2008).

3. El rango de frecuencias conversacionales de la voz humana está entre 250 y 3.000 Hz, por lo que se han considerado tradicionalmente como las más importantes para el entendimiento de la palabra. Sin embargo algunos fonemas se encuentran entre los 4.000 y los 8.000 Hz, incluso en frecuencias más altas, especialmente en las consonantes fricativas (Rodríguez Valiente *et al.*, 2009; ANEXO 1). Pero se ha visto que las frecuencias más altas juegan un papel importante en la localización del sonido (Best *et al.*, 2005), y en el entendimiento de la palabra, especialmente en ambientes ruidosos (Rodríguez Valiente *et al.*, 2009; Shaw *et al.*, 1996; Trees y Turner, 1986; Tyler *et al.*, 1982), siendo la comprensión del habla uno de los problemas más comúnmente presentados por los adultos mayores, en especial cuando existe ruido de fondo o reverberación del sonido (CHABA, 1988; Nabelek y Robinson, 1982; Plomp, 1978). Estos problemas se asocian directamente con una reducción de la calidad de vida (Stark y Hickson, 2004).

4. Otras alteraciones en la audición menos comunes, como son la hipoacusia de origen genético, endocrinológico o infeccioso, se pueden beneficiar también de un diagnóstico temprano gracias a la realización de la audiometría con EAF (Adam *et al.*, 2008; Güngör *et al.*, 2000; Rahko y Karma, 1990); así como en ciertas enfermedades inmunomediadas, como la artritis reumatoide y el lupus eritematoso sistémico, que pueden cursar con hipoacusia neurosensorial y afectación inicial en la EAF (Lasso de la Vega Zamora, 2012).

2. OBJETIVOS

Resumen:

Los umbrales de audición para la audiometría en frecuencias convencionales (125 – 8.000 Hz) están establecidos en la norma ISO 7029 (2000), pero unos valores más actualizados serían necesarios, especialmente para la población española. En la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz) no se disponen de valores de normalidad.

Por este motivo sería necesario establecer unos valores de normalidad en todo el espectro auditivo, valorar posibles diferencias entre hombres y mujeres, y comparar entre los resultados aquí obtenidos, los establecidos en la norma ISO 7029 y los obtenidos por otros autores; además de valorar los diferentes auriculares utilizados en la audiometría.

2.1. MOTIVO DEL ESTUDIO

Los umbrales de audición para la audiometría en FC (125-8.000 Hz) establecidos en la norma ISO 7029 (2000) están basados en pocos trabajos, que además son de los años 50, 60 y 70. Unos valores más actualizados serían necesarios, ya que las características de la población pueden haber cambiado. Además, no se dispone hasta el momento de ningún estudio de umbrales de audición para la población española.

Sería útil disponer de unos valores de normalidad estratificados por grupos de edad, especialmente para la población española, puesto que no hay antecedentes de estudios de audición, y los existentes están hechos hace décadas y en unas condiciones distintas a las actuales. Además, hay discrepancias en cuanto a una posible diferencia en los umbrales de audición entre hombres y mujeres.

Es conveniente que los patrones de normalidad engloben el mayor rango posible de edad. Los datos existentes hasta el momento solo comprenden una población entre 18 y 70 años (ISO 7029: 2000); pero sería útil disponer de valores para la población menor de 18 años y mayor de 70 años, que por otro lado cada vez es más numerosa en nuestra sociedad.

Convendría tener unas tablas donde consultar estos valores de normalidad, y que sean fáciles de manejar. Las únicas existentes hasta el momento

son las de la norma ISO 7029, que requieren el uso de fórmulas complejas y son difíciles de manejar.

La detección e intervención tempranas de la hipoacusia son los factores más importantes para minimizar las consecuencias de la pérdida de audición. La audiometría con EAF (9.000-20.000 Hz) se está utilizando cada vez más en la práctica clínica gracias a su utilidad en la detección precoz de patologías que cursan con pérdida de audición.

A los pacientes sometidos a tratamientos quimioterápicos (especialmente los basados en cisplatino) se les puede hacer un control audiométrico previo al comienzo del tratamiento, y así valorar el efecto ototóxico durante el proceso. Pero en ocasiones esta audiometría previa no se les ha hecho, por lo que la pérdida de audición que presenten durante el tratamiento no puede ser cuantificada ya que no disponemos de valores previos con los que poder comparar. El disponer de unos valores de normalidad en función del grupo de edad con los que poder comparar la audición de cada sujeto nos sería de ayuda para decir si presenta pérdida de audición o no, y en que cuantía.

Estos valores de normalidad también ayudarían a establecer una posible pérdida de audición en sujetos que han estado expuestos a ruido.

Pero esta detección no sería solo con un fin diagnóstico, sino también preventivo, puesto que es sabido que la afectación auditiva comienza en las frecuencias más altas, extendiéndose progresivamente hasta llegar a las FC, al igual que ocurre en la presbiacusia.

Por lo tanto, sería importante disponer de unos valores de normalidad distribuidos por grupos de edad, que sirvan como referencia, con los que comparar los pacientes de los que no dispongamos de audiometrías previas a la exposición del agente ototóxico o la exposición al ruido, entre otros. También serían de utilidad estos valores para el estudio del entendimiento del lenguaje, para valorar su implicación, así como en su aplicación en las prótesis auditivas, ya que la mayor parte de los audífonos solamente recogen y transmiten al oído los sonidos hasta 4.000 Hz.

2.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La audición va cambiando a lo largo de la vida, deteriorándose a medida que envejecemos, por lo que los umbrales de audición deberían ir empeorando.

No se puede decir con precisión hasta qué frecuencia y a qué intensidad se puede considerar normal que oiga un sujeto en función de su edad. Además, no hay consenso en cuanto a posibles diferencias en el umbral auditivo entre hombres y mujeres. Habría que saber si los resultados aquí obtenidos son similares o difieren de los logrados por otros autores.

Para calcular estos datos habría que seleccionar una muestra representativa de una población sin patología auditiva conocida, con un amplio rango de edad, distribuida en función de la edad y del sexo, a la que se le realizaría una audiometría tonal liminar en FC (125 – 8.000 Hz) y una

En la audiometría con EAF no existen unos valores de normalidad establecidos. Algunos autores han intentado comparar sus resultados con los de otros autores (Beiter y Talley, 1976; De Seta *et al.*, 1985; Fausti *et al.*, 1979; Green *et al.*, 1987; Stelmachovicz *et al.*, 1989), pero esta comparación es difícil, ya que no se dispone de los suficientes datos de los otros autores, y por lo tanto se hace una comparación gráfica, pero no estadística. Sería útil disponer de una comparación no solo gráfica, sino estadística de aquellos estudios que entre sus datos incluyan la media o la mediana y la desviación estándar (DE) de los umbrales de audición. De esta forma se podría hacer una media global de todos los umbrales de audición. Una estandarización de los umbrales de audición en la audiometría con EAF por grupos de edad sería necesaria, ya que ésta no está incluida en la actual norma ISO 7029 (Reuter *et al.*, 1998; Stenklev & Laukli, 2004).

audiometría con EAF (9.000 – 20.000 Hz), con la finalidad de establecer los umbrales de audición.

La audiometría con EAF podría diagnosticar hipoacusias no detectables en la audiometría convencional en fases precoces de distintas patologías del oído interno.

Dado que la audiometría con EAF puede tener un papel predominante en el estudio rutinario de la sordera y en la prevención de diversas enfermedades del oído interno, se hace necesario un estudio que permita establecer los parámetros de normalidad de la población española.

Para la realización de la audiometría tonal liminar con EAF los distintos investigadores han utilizado diversos auriculares (tanto circumaurales como de inserción); sin embargo no se sabe si los resultados con los distintos auriculares pueden ser comparables o no.

2.3. OBJETIVOS

Principal:

Establecer unos valores de normalidad de los umbrales de audición en la población española, en función del grupo de edad, tanto en la

audiometría en frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz), como en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 - 20.000 Hz).

Secundarios:

1. Valorar posibles diferencias en los umbrales de audición en función del sexo tanto en frecuencias convencionales como en extensión en altas frecuencias.
2. Comparar los umbrales de audición en frecuencias convencionales con los valores que se establecen en la norma ISO 7029 (2000).
3. Valorar posibles diferencias entre poblaciones que han sido cribadas auditivamente y poblaciones no cribadas, como establece la norma ISO 1999 (2013).
4. Hacer una comparación entre los resultados aquí obtenidos en la audiometría con extensión en altas frecuencias y los de otros autores, con el objetivo de establecer unos valores comunes para todas las poblaciones, y el propósito de desarrollar un nuevo estándar que pueda ser utilizado a nivel internacional.
5. Valorar y comparar los distintos auriculares empleados en la audiometría con extensión en altas frecuencias, además de los recogidos en la norma ISO 389-5 (2006).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Resumen:

La muestra consta de 1.175 sujetos otológicamente normales, divididos por grupos de edad. A todos los sujetos se les realizó una audiometría tonal liminar con un audiómetro Madsen. En las frecuencias convencionales (125–8.000 Hz) se utilizó un auricular supra-aural TDH-39. Para la extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz) se utilizó un auricular circumaural HDA 200.

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos mediante el programa SPSS 15. Se compararon los distintos grupos de edad, entre hombres y mujeres y también los valores establecidos en la norma ISO 7029 (2000) para las frecuencias convencionales, y los obtenidos por otros autores para la extensión en altas frecuencias.

3.1. MATERIAL

3.1.1. Sujetos

Se han recogido los datos de 1.175 sujetos, residentes en las localidades pertenecientes al Área 6 de la Comunidad de Madrid (Área Noroeste), que está compuesta tanto por zonas urbanas como rurales, y diversos niveles socio-económicos. Es por tanto una muestra representativa de la población general que compone tanto la Comunidad de Madrid como la población española.

Los sujetos fueron reclutados en la consulta de Otorrinolaringología del Hospital Universitario Puerta de Hierro-Majadahonda; muestra compuesta por pacientes que acudían a consulta por una patología distinta a la auditiva, acompañantes de pacientes y personal sanitario perteneciente al centro (estudiantes de medicina, médicos, personal de enfermería y auxiliares).

Todos los sujetos fueron evaluados y valorados a través de una entrevista clínica, basada en el cuestionario del Anexo A de la norma ISO 389-9 (2009), y un examen físico llevado a cabo en la consulta de Otorrinolaringología de acuerdo con la norma ISO 389-9. Ninguno de los sujetos recibió compensación económica. Cuando el sujeto mostraba cansancio, fatiga, o falta de interés se suspendía la prueba y se realizaba en otro momento.

Los criterios de inclusión y exclusión fueron aquellos establecidos en las normas ISO 7029 (2000), ISO 389-1 (1998), ISO 8253-1 (2010), e ISO 8253-2 (2009), que definen las características de un *sujeto otológicamente normal*, y que engloban:

Criterios de inclusión:

- Buen estado de salud.
- Sin signos ni síntomas de patología otológica.
- Sin cerumen que obstruya el conducto auditivo externo (en caso de tenerlo se extraía previamente).
- Sin historia previa de exposición indebida a ruido.

Criterios de exclusión:

- Personas con historia de exposición a fármacos potencialmente ototóxicos.
- Personas con antecedentes familiares de hipoacusia.

A todos los sujetos se les explicó en qué consistía la prueba que se les iba a realizar y la finalidad de ésta. Todos los sujetos dieron su consentimiento de acuerdo con las recomendaciones establecidas por el Comité Ético del Hospital.

La muestra estaba compuesta por 587 mujeres y 588 hombres, con edades comprendidas entre los 3 y 90 años. Los sujetos fueron divididos en grupos de edad en intervalos de 10 años, al igual que se hace en la mayoría de las publicaciones, excepto para los grupos de menor y mayor edad (3-4; 5-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79; y 80-90 años).

También se dividió la población en grupos de edad de 5 años, con la finalidad de hacer grupos más reducidos, y así poder ser más preciso a la hora de buscar los valores de normalidad para cada grupo de edad. Se hizo un análisis estadístico adicional con estos grupos de edad de 5 años. Los valores de estos grupos se calcularon para establecer patrones de normalidad en nuestra población, pero no fueron comparados con estudios previos.

Para la comparación de los auriculares utilizados en la audiometría con EAF, se recogieron los datos de los sujetos comprendidos en 2 grupos de edad (5-17 y 18-25 años). Estos grupos de edad son los que se utilizan en la mayoría de los estudios. De esta forma se pueden comparar los resultados obtenidos en los umbrales de audición de los sujetos aquí estudiados con los de otros trabajos que utilizan auriculares distintos a los que se han utilizado en este estudio.

3.1.2. Instrumental y procedimiento

La determinación del nivel liminar de los umbrales de audición para tonos puros se llevó a cabo dentro de una cabina insonorizada y

sonoamortiguada, mediante audiometría manual. La cabina cumplía con la normativa (ISO 11957, 1996). El ruido ambiente máximo permisible estaba dentro de los requerimientos establecidos en la norma ISO 8253-1 (2010).

Para la audiometría en las FC (125 - 8.000 Hz) se utilizó un audiómetro clínico Madsen (Madsen Orbiter 922, versión 2; Madsen Electronics, Taastrup, Denmark) y unos auriculares supra-aurales Telephonics TDH-39 (Telephonics Co., Farmingdale, NY, USA) con almohadillas MX 41/AR. El rango dinámico del audiómetro estaba entre -10 dB y 120 dB.

La audiometría con EAF (9.000 – 20.000 Hz) se realizó con el mismo audiómetro Madsen y auriculares circumaurales Sennheiser HDA 200 (Sennheiser Co, Germany).

Todo el material audiométrico se calibró de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y a la normativa ISO 389-1 (1998) e IEC 60645-1 (2001). Los transductores se calibraron de acuerdo a la ISO 389-1 (1998) e IEC 60318-1 (2009).

Para la recogida de los datos se diseñó un audiograma que comprendiese tanto las FC como la EAF, es decir, desde 125 hasta 20.000 Hz (ANEXO 3). Estos datos eran trasladados posteriormente a una base de datos informatizada (*Microsoft Excel* y *Statistical Package for the Social Sciences, SPSS*) para poder ser analizados estadísticamente.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Audiometría y frecuencias testadas

A todos los sujetos seleccionados se les realizó una audiometría tonal liminar por vía aérea para determinar el umbral de audición con tonos puros en las distintas frecuencias:

Frecuencias convencionales (FC):

- Frecuencias bajas: 125 y 250 Hz.
- Frecuencias medias: 500 y 1.000 Hz.
- Frecuencias altas: 2.000, 4.000 y 8.000 Hz.

Extensión en Altas Frecuencias (EAF):

9.000, 10.000, 11.200, 12.500, 14.000, 16.000, 18.000 y 20.000 Hz.

3.2.2. Determinación del umbral de audición

Todas las pruebas audiométricas se llevaron a cabo por personal entrenado, conforme a lo establecido en la norma ISO 8253-1 (2010).

A los sujetos se les explicó en qué consistía la prueba y la forma de responder a los estímulos expuestos. La preparación y la instrucción de los sujetos sometidos a ensayo y el posicionamiento de los transductores se llevaron a cabo conforme a la norma ISO 8253-1 (2010).

Los umbrales auditivos por vía aérea se determinaron siguiendo el método ascendente establecido en la norma ISO 8253-1 (2010). Para cada frecuencia testada la señal se incrementaba de forma manual en pasos de 5 dB hasta que la persona respondía, después, la señal se disminuía 10 dB y se incrementaba de nuevo en pasos de 5 dB hasta obtener una nueva respuesta. La intensidad a la que el sujeto respondía 3 de cada 5 veces era la que se tomaba como umbral auditivo. En sujetos muy jóvenes o muy mayores en los que era difícil mantener la atención, se utilizó la versión abreviada del método ascendente (ISO 8253-1, 2010), en la que se consideraba como umbral auditivo 2 respuestas a la misma intensidad de cada 3 ascensos. El estímulo expuesto consistía en un tono puro continuo de 1 a 2 segundos de duración (IEC 60645-1, 2001). No se usó enmascaramiento en ninguna de las pruebas.

Los umbrales de audición en la audiometría en FC fueron calculados en dB *Hearing Level* (dB HL), y los umbrales en la audiometría con EAF en dB *Sound Pressure Level* (dB SPL). El máximo nivel de intensidad de sonido testado fue 120 dB HL en FC y 120 dB SPL en EAF. En aquellos sujetos que no respondieron a la máxima intensidad en alguna frecuencia se consideró 120 dB el umbral de respuesta para esa frecuencia.

Existe el riesgo potencial de presentar distorsión armónica cuando se presentan tonos puros a una intensidad superior a 90 dB SPL, especialmente en la audiometría con EAF. La distorsión armónica es un parámetro técnico utilizado para definir la señal de audio que sale de un sistema. Se produce cuando la señal de salida no equivale a la señal que entró en él porque el equipo ha introducido armónicos (múltiplos de la señal de entrada). En todo sistema de audio siempre se produce una pequeña distorsión de la señal.

En este caso se encontraron armónicos a intensidades de 105 y 110 dB SPL en 9 kHz (con aparición de armónicos a 18 y 19,6 kHz), 10 kHz (armónico a 20 kHz), y 11,2 kHz (armónico a 21,6 kHz), aunque estos armónicos presentaron una energía de al menos 55 dB por debajo de la entrada de la señal principal. No se detectaron armónicos en frecuencias por debajo de la frecuencia testada. La distorsión armónica fue inferior a 0,01% en la audiometría con EAF, donde los armónicos estaban muy por debajo del umbral audible. Los datos de referencia para el auricular HDA 200 recogidos en las normas ISO 389-5 e ISO 389-8 se cumplieron para todas las frecuencias.

3.2.3. Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el paquete de análisis estadístico SPSS (*Statistical Package for Social Science*), versión 15.0. El análisis se llevó a cabo mediante el test ANOVA y el test de Tukey para comparaciones múltiples.

Se calcularon los datos descriptivos media, mediana, y desviación estándar (DE) para

identificar tendencias en cada grupo; y los percentiles (P) 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95. La comparación entre las variables cualitativas se calculó usando la prueba χ^2 .

3.2.4. Análisis comparativo

Se realizó una comparación gráfica entre todos los estudios que aportaban datos numéricos (media o mediana).

También se llevó a cabo un análisis estadístico con aquellos estudios que además de media o mediana aportaban la DE y el número de sujetos estudiados.

Las diferencias en las medias en los distintos autores a comparar se calculó mediante la prueba t de Student para muestras independientes utilizando el software para análisis epidemiológico de datos tabulados EPIDAT 3.1 (Hervada Vidal *et al.*, 2004). Todos los valores de p son bilaterales, y una $p < 0,05$ fue considerada como nivel estadísticamente significativo.

4. RESULTADOS

Resumen:

La audición empeora, tanto en frecuencias convencionales como en extensión en altas frecuencias, a medida que se incrementa la frecuencia y a medida que avanza la edad.

El 100% de los sujetos respondió a alguna de las intensidades expuestas desde 125 hasta 11.200 Hz. A partir de 12.500 Hz, el número de sujetos que no respondió a ninguna intensidad se incrementó con el aumento de la frecuencia.

Al comparar los grupos de menor edad, los más jóvenes (5-19 años) presentaban umbrales de audición peores que el grupo de 20-29 años, tanto en las frecuencias convencionales (125 - 1000 Hz) como en la extensión en altas frecuencias (11,2; 12,5 y 16 kHz), pero sin encontrarse una diferencia estadísticamente significativa.

Se encontraron diferencias en función del sexo en las frecuencias de 10 a 18 kHz (especialmente en 12,5 y 16 kHz), dependiendo del grupo de edad.

Los umbrales de audición de 125 a 8.000 Hz del presente estudio fueron peores que los establecidos en la norma ISO 7029 (2000), especialmente en el rango de 125 a 500 Hz. En la audiometría con extensión en altas frecuencias los umbrales de audición fueron mejores que los de la mayoría de los estudios con los que se comparó el presente trabajo.

Los distintos auriculares empleados en la audiometría con extensión en altas frecuencias (auriculares circumaurales y de inserción) presentaron resultados similares hasta 16 kHz.

4.1. FRECUENCIAS CONVENCIONALES (125 - 8.000 Hz)

4.1.1. Umbrales de audición

La media, mediana y DE de los umbrales de audición se muestran en la Tabla 4 (para hombres) y en la Tabla 5 (para mujeres). Las Tabla 6 y Tabla 7 muestran los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90, y 95 para hombres y mujeres respectivamente. La media y el intervalo de confianza (IC) del 95% se muestran en la Figura 5 (para hombres) y Figura 6 (para mujeres). Todos los valores representados en las tablas y en las figuras están expresados en dB HL.

Todos los sujetos respondieron al menos al nivel máximo de intensidad del sonido presentado (120 dB HL). En el grupo de menor edad (3-4 años) solo se midieron las frecuencias 500, 1.000 y 2.000 Hz, debido a la dificultad en la exploración en estos sujetos.

Se puede comprobar cómo los umbrales de audición (media y mediana) a intensidad más baja se encuentran en las frecuencias 1.000 y 2.000 Hz, aumentando (empeorando) en las frecuencias por

debajo de 1.000 Hz y a medida que aumenta la frecuencia a partir de 2.000 Hz, para todos los grupos de edad. También aumentan (empeoran) los valores de los umbrales de audición a medida que avanza la edad del grupo. La DE es mayor a medida que se incrementa la frecuencia (Tablas 4 y 5; Fig. 5 y 6). Lo mismo ocurre con los percentiles, que su valor crece a medida que aumenta la edad. Los valores del P90 y P95 coinciden o la diferencia es menor a 5 dB en la mayoría de los casos (Tablas 6 y 7).

En el ANEXO 4 se exponen las tablas y las figuras de los umbrales de audición para los grupos de edad divididos en intervalos de 5 años.

Tanto los percentiles, como la mediana y el IC 95% están representados en el ANEXO 5 para esta misma población con otra distribución en grupos de 10 años, excepto el de mayor edad (5-14; 15-24; 25-34; 35-44; 45-54; 55-64; 65-74; 75-90).

Umbrales de audición en los sujetos más jóvenes:

Al comparar los dos grupos de menor edad, exceptuando el de 3-4 años, los más jóvenes (5-19 años) presentaban umbrales de audición más elevados (peores) que el grupo de 20-29 años (Tabla 8; Fig. 5 y 6), pero sin encontrar una diferencia estadísticamente significativa.

Umbrales de audición en función del sexo:

Al analizar la media de los umbrales de audición en función del sexo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ningún grupo de edad, ni en ninguna de las frecuencias, por lo que se podrían plantear unos umbrales de audición comunes para hombres y mujeres (Tabla 8).

Tabla 4. Umbrales de audición (en dB HL) en frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz) para hombres. Media, mediana y desviación estándar (DE). Los valores de la media y la mediana se han redondeado a la unidad más cercana.

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)						
	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
3-4 (n=18)							
Media			18	15	12		
Mediana			20	15	10		
DE			2,97	3,38	2,97		
5-19 (n=158)							
Media	17	14	12	9	7	8	11
Mediana	15	15	10	10	5	10	10
DE	6,57	5,97	5,15	5,67	5,56	5,75	7,32
20-29 (n=55)							
Media	15	12	11	8	6	8	8
Mediana	15	10	10	10	5	10	5
DE	6,04	7,67	6,65	6,17	5,98	6,84	7,47
30-39 (n=85)							
Media	16	13	12	9	6	13	11
Mediana	15	15	10	10	5	10	10
DE	6,13	5,99	6,29	5,87	6,07	10,53	10,83
40-49 (n=56)							
Media	16	13	12	10	7	13	16
Mediana	15	12	10	10	5	10	15
DE	6,99	6,17	6,18	5,95	6,20	7,92	10,23
50-59 (n=57)							
Media	18	15	15	14	11	18	25
Mediana	20	15	15	15	10	20	25
DE	5,80	5,42	6,10	5,57	6,69	10,17	14,55
60-69 (n=63)							
Media	20	16	16	15	15	29	36
Mediana	20	15	15	15	15	25	30
DE	6,49	5,42	5,90	6,92	9,91	16,19	19,09
70-79 (n=39)							
Media	21	19	18	20	26	42	53
Mediana	20	20	15	20	20	40	55
DE	6,30	6,89	7,66	8,62	16,19	19,82	18,22
80-90 (n=17)							
Media	25	21	22	22	36	56	67
Mediana	25	20	25	25	35	55	70
DE	7,88	5,80	7,08	8,48	9,80	11,11	17,68

4.1.2. Comparación con la ISO 7029 (2000)

Solo se compararon con la norma ISO 7029 (2000) los grupos de edad que incluían de 20 a 69 años, ya que la norma solo comprende sujetos entre los 18 y los 70 años inclusive.

Cuando se analizó toda la población en su conjunto, sin distinguir por grupos de edad, se encontró que los umbrales de audición del

presente estudio eran peores, es decir, más elevados que los umbrales de audición de la norma ISO 7029, especialmente en el rango de frecuencias de 125 a 500 Hz, siendo la diferencia mínima de 1.000 a 8.000 Hz (Fig. 7 y 8). El IC 95% era más amplio en la ISO 7029, tanto para hombres (Fig. 7) como para mujeres (Fig. 8).

Tabla 5. Umbral de audición (en dB HL) en frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz) para mujeres. Media, mediana y desviación estándar (DE). Los valores de la media y la mediana se han redondeado a la unidad más cercana.

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)						
	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
3-4 (n=11)							
Media			22	19	13		
Mediana			20	20	10		
DE			3,37	3,93	4,04		
5-19 (n=147)							
Media	18	15	13	10	6	7	11
Mediana	20	15	15	10	5	10	10
DE	6,15	5,99	6,13	5,34	5,17	5,59	7,33
20-29 (n=79)							
Media	13	10	10	7	5	6	9
Mediana	15	10	10	5	5	5	5
DE	5,75	6,13	5,15	5,38	5,28	6,26	9,38
30-39 (n=87)							
Media	15	13	12	10	7	9	9
Mediana	15	10	15	10	10	10	10
DE	6,02	6,41	6,59	6,66	5,74	7,19	8,19
40-49 (n=68)							
Media	17	15	14	11	9	12	15
Mediana	15	15	12	10	10	10	15
DE	7,06	6,69	6,91	6,52	6,73	6,89	9,54
50-59 (n=80)							
Media	18	14	14	15	12	16	20
Mediana	15	15	15	15	10	15	20
DE	5,67	5,83	5,37	6,40	7,06	8,52	10,28
60-69 (n=76)							
Media	19	17	17	16	17	25	36
Mediana	20	15	15	15	15	25	40
DE	5,60	5,68	6,62	6,92	9,53	10,92	15,92
70-79 (n=35)							
Media	21	19	20	19	24	33	49
Mediana	20	15	20	15	25	30	50
DE	6,65	6,47	5,93	7,77	10,34	16,44	18,46
80-90 (n=21)							
Media	24	21	24	24	34	51	68
Mediana	25	25	25	25	35	50	70
DE	6,30	6,69	8,53	9,69	11,39	14,76	15,29

RESULTADOS

Tabla 6. Umbrales de audición en hombres (en dB HL). Se representan los percentiles (P) 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango de frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz).

		Grupo edad (años)								
Frecuencia (Hz)	P	3-4 n=18	5-19 n=158	20-29 n=55	30-39 n=85	40-49 n=56	50-59 n=57	60-69 n=63	70-79 n=39	80-90 n=17
125	5		5	9	5	5	10	10	10	15
	10		10	10	10	5	10	10	15	15
	25		10	10	10	11	15	15	15	20
	50		15	15	15	15	20	20	20	25
	75		20	20	20	20	20	25	25	30
	90		25	25	25	25	25	30	30	37
	95		25	25	28	26	30	30	30	45
250	5		5	0	5	5	5	10	10	15
	10		5	3	5	5	9	10	10	15
	25		10	5	10	10	10	15	15	15
	50		15	10	15	12	15	15	20	20
	75		16	20	15	20	20	20	20	25
	90		20	22	20	20	20	25	30	31
	95		25	25	25	21	20	25	35	35
500	5	10	5	0	5	4	5	6	10	0
	10	14	5	3	5	5	10	10	10	12
	25	15	10	5	10	10	10	10	15	20
	50	20	10	10	10	10	15	15	15	25
	75	20	15	15	15	20	20	20	20	25
	90	20	20	20	20	20	25	25	30	30
	95	20	20	21	23	20	25	25	40	30
1.000	5	10	0	0	0	0	5	5	5	10
	10	10	0	0	5	3	5	5	10	8
	25	15	5	5	5	5	10	10	15	17
	50	15	10	10	10	10	15	15	20	25
	75	20	10	15	10	15	20	20	25	27
	90	20	20	17	20	20	20	25	35	31
	95	20	20	20	20	20	25	29	40	35
2.000	5	10	0	0	0	0	0	0	10	20
	10	10	0	0	0	0	5	5	10	20
	25	10	0	0	0	5	5	10	10	27
	50	10	5	5	5	5	10	15	20	35
	75	15	10	10	10	10	15	20	35	45
	90	15	15	15	15	16	21	30	60	50
	95	20	15	17	15	20	25	30	60	50
4.000	5		0	0	0	0	0	10	15	40
	10		0	0	3	3	5	10	19	40
	25		5	3	5	10	10	15	25	47
	50		10	10	10	10	20	25	40	55
	75		10	15	15	18	25	40	56	65
	90		15	20	22	25	30	53	71	75
	95		20	20	25	30	35	60	80	75
8.000	5		0	0	0	0	10	10	30	35
	10		0	0	0	5	10	10	30	39
	25		5	0	5	10	15	20	35	52
	50		10	5	10	15	25	30	55	70
	75		15	15	15	24	35	55	70	80
	90		20	20	25	30	50	65	75	92
	95		25	21	30	36	55	70	80	100

Tabla 7. Umbral de audición en mujeres (en dB HL). Se representan los percentiles (P) 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 en el rango de frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz).

		Grupo edad (años)								
Frecuencia (Hz)	P	3-4 n=11	5-19 n=147	20-29 n=79	30-39 n=87	40-49 n=68	50-59 n=80	60-69 n=76	70-79 n=35	80-90 n=21
125	5		5	5	5	5	10	10	10	15
	10		10	5	10	10	10	10	13	15
	25		15	10	10	10	15	15	15	20
	50		20	15	15	15	15	20	20	25
	75		20	15	20	20	20	24	25	25
	90		25	20	25	25	25	25	30	34
	95		30	25	25	30	25	30	36	39
250	5		5	0	2	5	5	5	10	10
	10		5	0	5	5	10	10	10	11
	25		10	5	10	10	10	15	15	15
	50		15	10	10	15	15	15	15	25
	75		20	15	15	20	20	20	25	25
	90		25	20	20	25	20	25	30	30
	95		25	20	25	25	25	25	31	30
500	5	15	5	0	0	5	5	9	10	10
	10	16	5	5	5	5	10	10	15	11
	25	20	10	5	10	10	10	10	15	15
	50	20	15	10	15	12	15	15	20	25
	75	25	15	15	15	20	20	20	25	30
	90	25	20	15	20	25	20	25	30	38
	95	25	25	20	25	25	20	25	31	40
1.000	5	10	0	0	0	2	5	5	9	10
	10	11	5	0	0	5	5	5	10	11
	25	15	5	5	5	5	10	10	15	17
	50	20	10	5	10	10	15	15	15	25
	75	20	15	10	15	15	20	20	25	30
	90	24	15	15	20	20	20	25	30	39
	95	25	20	15	20	25	25	26	35	49
2.000	5	10	0	0	0	0	0	5	5	15
	10	10	0	0	0	0	5	5	8	16
	25	10	0	0	5	5	5	10	15	30
	50	10	5	5	10	10	10	15	25	35
	75	15	10	10	10	15	15	20	35	37
	90	20	15	10	15	20	20	30	37	49
	95	20	15	15	20	23	25	40	41	63
4.000	5		-3	0	-3	5	0	10	5	30
	10		0	0	0	5	5	15	15	31
	25		5	0	5	5	10	15	20	40
	50		10	5	10	10	15	25	30	50
	75		10	10	15	20	20	30	45	65
	90		15	15	20	20	25	40	60	69
	95		15	15	20	25	30	45	61	83
8.000	5		0	0	-3	0	5	10	15	40
	10		0	0	0	5	5	13	20	45
	25		5	0	5	10	15	25	35	57
	50		10	5	10	15	20	40	50	70
	75		15	15	15	20	29	45	60	80
	90		20	20	20	30	30	55	75	89
	95		20	30	25	32	35	65	81	90

Figura 5. Media de los umbrales de audición (en dB HL) en hombres en las frecuencias convencionales (125-8.000 Hz). Las barras de error representan el IC 95%

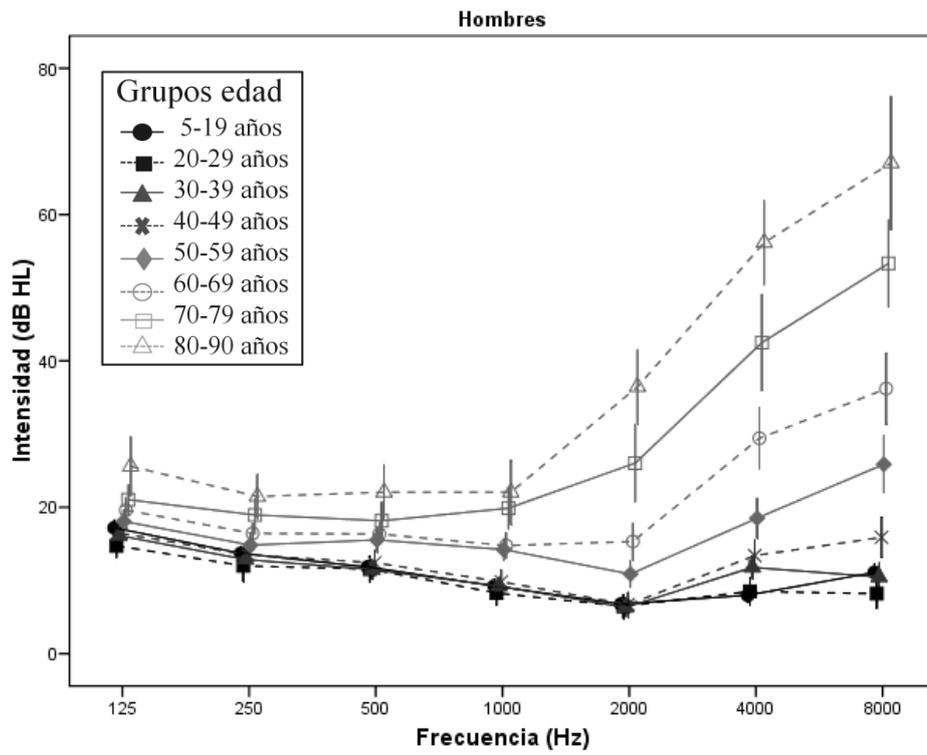


Figura 6. Media de los umbrales de audición (en dB HL) en mujeres en las frecuencias convencionales (125-8.000 Hz). Las barras de error representan el IC 95%

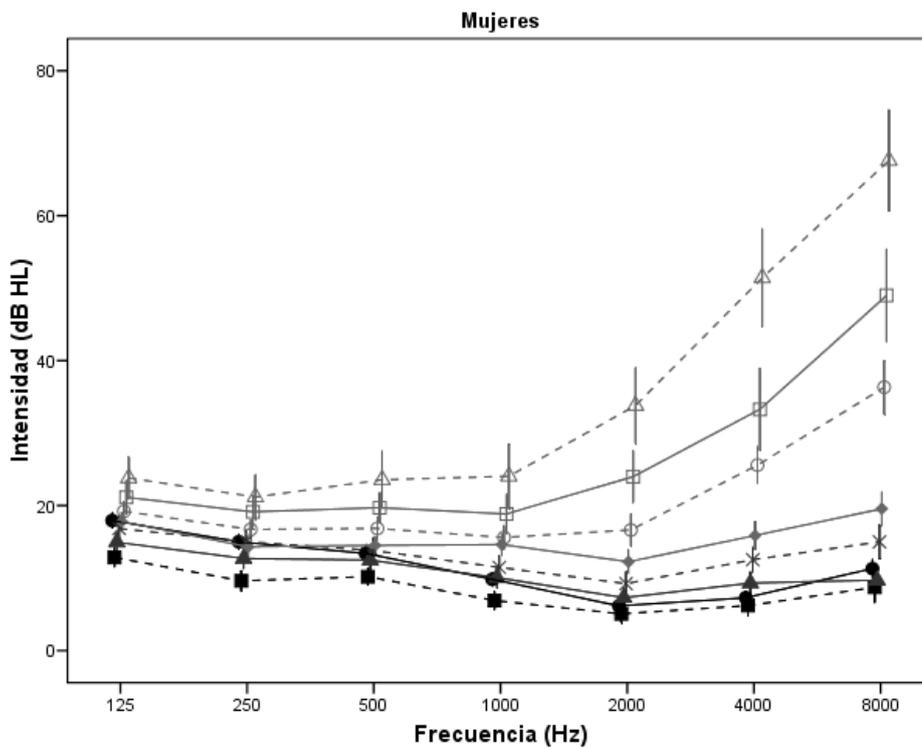


Tabla 8. Umbral de audición para ambos sexos (en dB HL) en el rango de frecuencias convencionales (125-8.000 Hz). Se representa la media (M), mediana (m), desviación estándar (DE) y los percentiles (P) 5 y 95.

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)						
	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
3-4 (n=29)							
M/ m			20/20	17/15	12/10		
DE			3,52	3,84	3,43		
P (5;95)			(12;25)	(10; 22)	(10; 20)		
5-19 (n=305)							
M/ m	18/20	14/15	12/10	9/10	6/5	8/10	11/10
DE	6,37	5,98	5,69	5,59	5,38	5,66	7,32
P (5;95)	(5;27)	(5; 25)	(5; 20)	(0; 20)	(0; 15)	(0; 15)	(0; 25)
20-29 (n=134)							
M/ m	14/15	11/10	11/10	7/5	5/5	7/5	8/5
DE	5,92	6,88	5,83	5,74	5,60	6,58	8,63
P (5;95)	(5; 25)	(0; 25)	(0; 20)	(0; 20)	(0; 15)	(0; 20)	(0; 30)
30-39 (n=172)							
M/ m	15/15	13/15	12/10	10/10	7/5	11/10	10/10
DE	6,10	6,19	6,40	6,27	5,91	9,10	9,59
P (5;95)	(5; 25)	(5; 25)	(0; 25)	(0; 20)	(0; 17)	(0; 25)	(0; 25)
40-49 (n=124)							
M/ m	16/15	14/15	13/10	11/10	8/5	13/10	15/15
DE	7,00	6,48	6,60	6,30	6,59	7,32	9,83
P (5;95)	(5; 30)	(5; 25)	(5; 25)	(0; 20)	(0; 20)	(0; 25)	(0; 34)
50-59 (n=137)							
M/ m	18/20	15/15	15/15	15/15	12/10	17/15	22/20
DE	5,71	5,65	5,69	6,05	6,92	9,30	12,59
P (5;95)	(10; 25)	(5; 20)	(5; 25)	(5; 25)	(0; 25)	(0; 30)	(5; 50)
60-69 (n=139)							
M/ m	19/20	16/15	16/15	15/15	16/15	27/25	36/35
DE	6,00	5,55	6,29	6,91	9,69	13,63	17,36
P (5;95)	(10; 30)	(10; 25)	(10; 25)	(5; 25)	(5; 35)	(10; 55)	(10; 65)
70-79 (n=74)							
M/ m	21/20	19/20	19/15	19/20	25/22	38/35	51/50
DE	6,42	6,65	6,88	8,19	13,69	18,74	18,34
P (5;95)	(10; 31)	(10; 31)	(10; 31)	(9; 35)	(5; 60)	(15; 73)	(19; 80)
80-90 (n=38)							
M/ m	25/25	21/20	23/25	23/25	35/35	54/55	67/70
DE	7,01	6,23	7,85	9,11	10,65	13,30	16,18
P (5;95)	(15; 40)	(10; 30)	(9; 40)	(9; 40)	(15; 51)	(30; 75)	(40; 90)

Figura 7. Media de los umbrales de audición (en dB HL) en hombres, valorando los grupos de edad de 20 a 69 años en su conjunto. Se comparan los hombres del presente estudio con los de la norma ISO 7029 (2000). Las barras de error representan el IC 95%

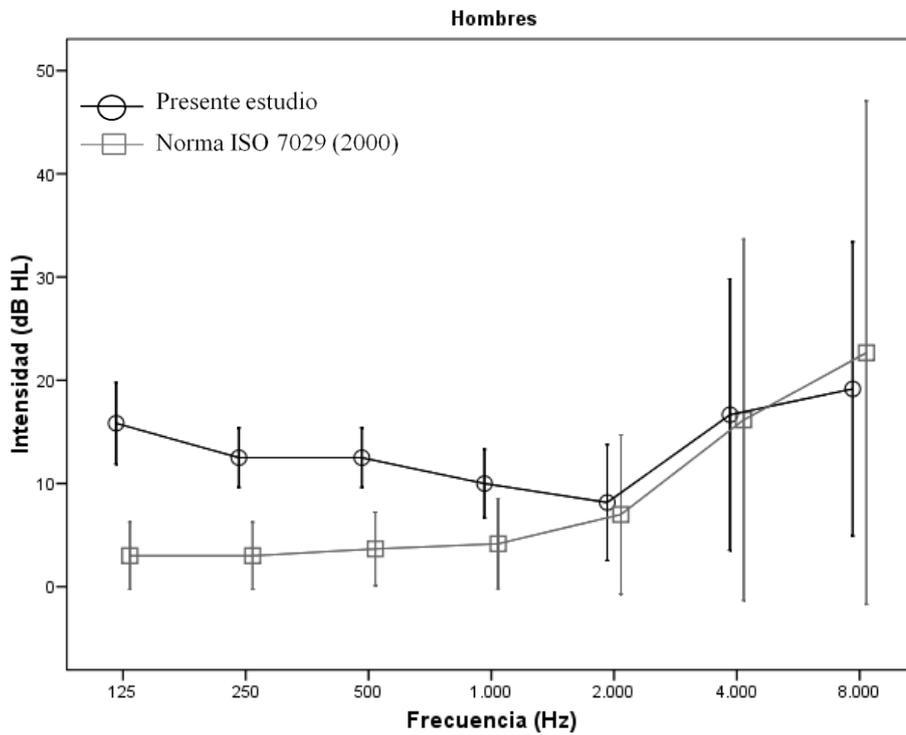
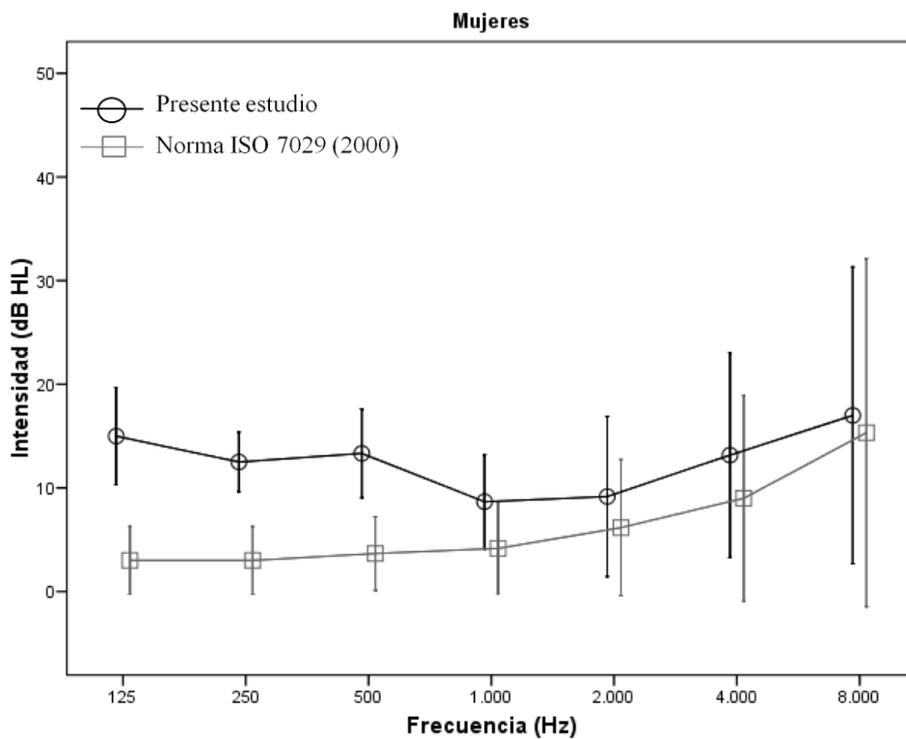


Figura 8. Media de los umbrales de audición (en dB HL) en mujeres, valorando los grupos de edad de 20 a 69 años en su conjunto. Se comparan las mujeres del presente estudio con las de la norma ISO 7029 (2000). Las barras de error representan el IC 95%



4.2. EXTENSIÓN EN ALTAS FRECUENCIAS (9.000 – 20.000 Hz)

4.2.1. Umbrales de audición

De los 1.175 sujetos reclutados, a 645 sujetos, 321 hombres (49.77%), y 324 mujeres (50.23%), se les realizó el estudio audiométrico con EAF. El rango de edad era de 5 a 90 años.

La media, mediana y DE se representan en las Tablas 9 y 10, para hombres y mujeres respectivamente. Los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 para hombres y mujeres se representan en las Tablas 11 y 12.

Tabla 9. Umbrales de audición (en dB SPL) en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz) en hombres, que se representan mediante la media, mediana y desviación estándar (DE).

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)							
	9.000	10.000	11.200	12.500	14.000	16.000	18.000	20.000
5-19 (n=87)								
Media	20	22	24	27	32	42	52	74
Mediana	20	20	25	25	30	40	50	80
DE	8,36	8,18	9,71	11,15	13,41	17,66	15,14	20,65
20-29 (n=37)								
Media	16	21	17	18	28	31	61	80
Mediana	15	20	15	15	25	26	60	85
DE	7,34	7,34	8,78	13,77	14,93	30,38	19,38	21,75
30-39 (n=51)								
Media	21	25	22	29	38	61	85	88
Mediana	20	25	25	30	35	70	90	90
DE	10,64	10,27	11,10	17,03	16,33	26,79	16,21	14,96
40-49 (n=43)								
Media	25	30	34	44	61	80	97	94
Mediana	25	25	30	45	60	90	95	90
DE	11,61	13,87	16,94	20,75	21,88	29,18	11,07	13,95
50-59 (n=37)								
Media	40	55	63	63	89	91	107	101
Mediana	40	55	65	70	90	100	110	100
DE	8,33	10,25	11,77	21,67	11,37	31,26	12,68	20,37
60-69 (n=43)								
Media	47	60	70	86	108	106	112	107
Mediana	40	52	67	80	120	120	120	120
DE	23,11	21,87	20,38	21,55	13,78	25,64	10,82	14,77
70-79 (n=28)								
Media	77	86	87	91	106	108	116	113
Mediana	80	90	95	90	110	120	120	120
DE	18,00	18,96	15,21	22,98	16,35	23,70	7,79	9,99
80-90 (n=6)								
Media	74	100	107	92	120	107	120	115
Mediana	75	100	105	90	120	120	120	120
DE	7,41	20,31	12,55	18,64	0,00	28,04	0,00	12,24

RESULTADOS

La media, mediana, DE, P5, P95 y el porcentaje de sujetos que respondieron al menos a la señal de máxima intensidad expuesta en cada frecuencia (120 dB SPL) fue calculada en cada grupo de edad, sin distinguir por sexo (Tabla 13).

Se observó un aumento (empeoramiento) en los umbrales de audición (media y mediana) para todos los grupos de edad a medida que la frecuencia aumentaba, al igual que en las FC.

En muchos casos la media y la mediana coinciden, aunque se encontraron diferencias de 10-20 dB

en 14, 16 y 20 kHz, especialmente en los grupos de mayor edad.

La Figura 9 muestra la mediana del umbral de audición en cada frecuencia para los distintos grupos de edad, representada mediante diagrama de cajas. Se observa que a medida que aumenta la frecuencia la dispersión de los datos es mayor, con la excepción de las frecuencias más altas, posiblemente debido al efecto techo que ocurre cuando una variable no se mide o estima por encima de un cierto nivel.

Tabla 10. *Umbral de audición (en dB SPL) en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz) en mujeres, que se representan mediante la media, mediana y desviación estándar (DE).*

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)							
	9.000	10.000	11.200	12.500	14.000	16.000	18.000	20.000
5-19 (n=67)								
Media	21	21	21	25	30	45	60	75
Mediana	20	20	20	25	30	45	55	70
DE	9,38	8,39	8,69	8,89	10,12	15,96	22,38	25,28
20-29 (n=59)								
Media	18	21	18	11	26	21	65	88
Mediana	15	20	15	5	25	10	65	90
DE	7,42	5,67	6,50	12,90	12,17	24,43	15,29	18,93
30-39 (n=40)								
Media	27	30	28	24	42	40	89	93
Mediana	25	30	25	15	40	32	90	95
DE	8,90	9,57	10,78	20,50	15,00	26,51	7,13	17,18
40-49 (n=36)								
Media	22	25	23	39	51	59	97	99
Mediana	25	25	25	42	50	50	95	110
DE	7,96	8,65	8,14	19,43	13,12	30,94	8,56	26,62
50-59 (n=62)								
Media	33	45	55	50	90	78	110	106
Mediana	35	45	60	45	85	60	115	120
DE	12,84	12,32	15,87	24,48	14,20	37,00	10,48	18,54
60-69 (n=35)								
Media	64	75	76	72	100	95	120	110
Mediana	65	72	77	70	90	120	120	120
DE	11,87	15,58	19,59	19,56	14,22	33,40	0,00	14,31
70-79 (n=17)								
Media	81	88	88	88	108	95	120	110
Mediana	77	85	85	80	110	120	120	120
DE	16,62	10,75	8,87	20,77	12,25	32,11	0,00	14,23
80-90 (n=8)								
Media	81	91	94	99	120	114	120	117
Mediana	80	90	95	100	120	120	120	120
DE	10,17	9,32	10,69	22,95	0,00	17,67	0,00	8,83

Tabla 11. Umbral de audición en hombres (en dB SPL) en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz). Se representan los percentiles (P) 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95.

		Grupo edad (años)							
Frecuencia (Hz)	P	5-19 n=87	20-29 n=37	30-39 n=51	40-49 n=43	50-59 n=37	60-69 n=43	70-79 n=28	80-90 n=6
9.000	5	10	5	5	10	25	21	35	65
	10	10	5	6	12	25	25	44	65
	25	15	10	15	15	35	25	70	67
	50	20	15	20	25	40	40	80	75
	75	25	20	25	35	45	66	90	80
	90	30	26	35	40	49	87	99	85
	95	3	30	41	50	55	94	104	85
10.000	5	10	10	10	11	35	35	40	75
	10	10	10	11	15	38	35	51	75
	25	15	15	20	20	50	40	77	80
	50	20	20	25	25	55	52	90	100
	75	30	25	30	40	65	75	100	120
	90	35	31	39	50	70	95	110	120
	95	35	40	47	60	70	108	110	120
11.200	5	5	5	8	11	40	31	51	95
	10	10	5	10	15	43	39	61	95
	25	20	10	15	15	55	60	80	95
	50	25	15	25	30	65	67	95	105
	75	30	25	25	50	75	90	97	120
	90	35	31	35	58	77	100	104	120
	95	38	35	46	64	80	109	109	120
12.500	5	5	0	5	7	15	48	44	75
	10	10	0	5	17	29	65	59	75
	25	25	5	15	30	50	70	75	75
	50	25	15	30	45	70	80	90	90
	75	30	25	40	60	75	100	116	109
	90	40	40	50	74	86	120	120	120
	95	50	45	64	85	93	120	120	120
14.000	5	7	10	10	21	70	82	70	120
	10	15	10	16	25	73	89	82	120
	25	25	17	25	50	80	95	90	120
	50	30	25	35	60	90	120	110	120
	75	40	35	55	75	95	120	120	120
	90	50	51	64	91	105	120	120	120
	95	55	60	65	100	120	120	120	120
16.000	5	7	0	10	10	38	50	50	50
	10	24	0	11	37	49	50	54	50
	25	30	0	40	50	52	104	111	95
	50	40	26	70	90	100	120	120	120
	75	55	45	80	100	120	120	120	120
	90	61	80	90	110	120	120	120	120
	95	68	95	92	118	120	120	120	120
18.000	5	27	34	41	80	86	90	95	120
	10	35	35	60	82	90	95	101	120
	25	40	40	80	90	95	100	112	120
	50	50	60	90	95	110	120	120	120
	75	60	70	95	100	120	120	120	120
	90	70	91	100	120	120	120	120	120
	95	80	95	100	120	120	120	120	120
20.000	5	37	33	60	72	64	81	92	90
	10	49	43	71	80	85	85	95	90
	25	55	75	80	85	92	95	110	112
	50	80	85	90	90	100	120	120	120
	75	90	95	95	100	120	120	120	120
	90	100	100	108	120	120	120	120	120
	95	103	120	120	120	120	120	120	120

RESULTADOS

Tabla 12. Umbral de audición en mujeres (en dB SPL) en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz). Se representan los percentiles (P) 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95.

		Grupo edad (años)							
Frecuencia (Hz)	P	5-19 n=67	20-29 n=59	30-39 n=40	40-49 n=36	50-59 n=62	60-69 n=35	70-79 n=17	80-90 n=8
9.000	5	7	10	15	10	10	40	60	70
	10	10	10	20	10	10	40	60	70
	25	15	15	25	15	25	60	70	70
	50	20	15	25	25	35	65	77	80
	75	30	25	25	25	42	70	100	85
	90	35	30	39	35	48	80	105	100
	95	38	35	45	36	50	80	105	100
10.000	5	10	10	15	10	30	55	75	80
	10	14	10	25	15	30	55	75	80
	25	15	20	25	20	30	58	80	85
	50	20	20	30	25	45	72	85	90
	75	25	25	30	30	57	90	100	90
	90	35	30	44	30	60	95	103	110
	95	40	30	59	50	60	95	105	110
11.200	5	10	10	15	14	30	50	75	80
	10	14	10	15	15	32	50	75	80
	25	15	15	20	15	35	56	85	80
	50	20	15	25	25	60	77	85	95
	75	25	20	34	25	67	85	95	100
	90	35	30	40	40	73	110	102	110
	95	38	30	55	40	75	110	105	110
12.500	5	9	0	0	4	16	44	60	70
	10	15	0	5	8	20	48	64	70
	25	20	0	10	25	30	60	72	80
	50	25	5	15	42	45	70	80	100
	75	30	20	35	54	66	80	107	120
	90	40	30	50	61	80	111	120	120
	95	40	40	74	70	90	120	120	120
14.000	5	15	15	25	20	75	85	95	120
	10	19	15	25	30	77	86	95	120
	25	25	15	30	50	80	90	95	120
	50	30	25	40	50	85	90	110	120
	75	35	30	45	55	95	120	120	120
	90	41	50	64	65	120	120	120	120
	95	50	55	84	81	120	120	120	120
16.000	5	19	0	0	14	25	44	40	70
	10	29	0	10	28	36	45	44	70
	25	35	0	20	40	45	55	60	120
	50	45	10	32	50	60	120	120	120
	75	55	40	64	80	120	120	120	120
	90	65	60	79	120	120	120	120	120
	95	75	70	94	120	120	120	120	120
18.000	5	25	40	70	80	95	120	120	120
	10	33	40	80	90	95	120	120	120
	25	45	55	85	95	100	120	120	120
	50	55	65	90	95	115	120	120	120
	75	75	70	90	100	120	120	120	120
	90	92	90	99	106	120	120	120	120
	95	103	90	100	120	120	120	120	120
20.000	5	25	58	63	31	85	85	80	95
	10	43	70	70	69	90	88	88	95
	25	60	80	89	85	95	95	95	120
	50	70	90	9	110	120	120	120	120
	75	100	100	100	120	120	120	120	120
	90	105	115	120	120	120	120	120	120
	95	110	120	120	120	120	120	120	120

Tabla 13. Umbrales de audición para ambos sexos (en dB SPL) en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 -20.000 Hz). Se representa la media (M), mediana (m), desviación estándar (DE), percentiles (P) 5 y 95, y el porcentaje de sujetos (%) que responden al menos a la intensidad más alta presentada (120 dB SPL).

Grupo edad (años)	Frecuencia (Hz)							
	9.000	10.000	11.200	12.500	14.000	16.000	18.000	20.000
5-19 (n=154)								
M/ m	21/20	22/20	23/20	26/25	31/30	43/40	55/55	75/75
DE	8,79	8,25	9,32	10,25	12,11	16,94	19,01	22,69
P (5; 95)	(10; 35)	(10; 36)	(9; 36)	(5; 41)	(10; 51)	(14; 75)	(25; 91)	(35; 105)
%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92,85%
20-29 (n=96)								
M/ m	17/15	21/20	18/15	13/10	27/25	25/17	63/65	85/90
DE	7,42	6,33	7,42	13,57	13,25	27,15	16,99	20,32
P (5; 95)	(5; 30)	(10; 34)	(5; 31)	(0; 40)	(10; 55)	(0; 80)	(35; 95)	(35; 120)
%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90,27%
30-39 (n=91)								
M/ m	24/25	27/25	25/25	27/25	40/40	52/55	86/90	90/90
DE	10,31	10,25	11,26	18,68	15,78	28,40	13,12	16,02
P (5; 95)	(5; 45)	(10; 50)	(10; 52)	(3; 67)	(15; 67)	(8; 92)	(58; 100)	(67; 120)
%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	86,44%
40-49 (n=79)								
M/ m	24/25	28/25	29/25	42/45	57/50	70/80	97/95	96/95
DE	10,18	11,98	14,67	20,19	18,92	31,64	9,94	20,71
P (5; 95)	(10; 40)	(10; 50)	(15; 60)	(5; 80)	(20; 95)	(15; 120)	(80; 120)	(65; 120)
%	100%	100%	100%	100%	100%	96,36%	96,36%	56,36%
50-59 (n=99)								
M/ m	36/40	51/55	59/62	55/55	89/90	83/95	109/110	104/105
DE	11,04	12,15	14,21	24,26	12,58	35,42	11,57	19,26
P (5; 95)	(10; 53)	(30; 70)	(32; 78)	(15; 90)	(72; 120)	(30; 120)	(90; 120)	(85; 120)
%	100%	100%	100%	98,76%	98,76%	75,30%	72,83%	48,14%
60-69 (n=78)								
M/ m	51/55	64/67	72/72	80/75	106/105	101/120	115/120	108/120
DE	21,92	21,29	20,02	21,58	14,21	29,79	9,32	14,52
P (5; 95)	(23; 92)	(35; 102)	(33; 110)	(45; 120)	(85; 120)	(45; 120)	(93; 120)	(85; 120)
%	100%	100%	100%	82,81%	82,81%	45,31%	43,75%	39,06%
70-79 (n=45)								
M/ m	79/80	87/85	88/90	90/85	107/110	103/120	117/120	112/120
DE	17,33	16,28	13,11	21,98	14,64	27,57	6,77	11,76
P (5; 95)	(38; 105)	(43; 110)	(57; 106)	(53; 120)	(76; 120)	(46; 120)	(98; 120)	(90; 120)
%	100%	100%	100%	73,58%	73,58%	30,18%	35,84%	30,18%
80-90 (n=14)								
M/ m	78/77	95/90	99/95	96/90	120/120	111/120	120/120	116/120
DE	9,40	14,84	12,93	20,67	0,00	22,00	0,00	10,03
P (5; 95)	(65; 100)	(75; 120)	(80; 120)	(70; 120)	(120; 120)	(50; 120)	(120; 120)	(90; 120)
%	100%	100%	100%	73,58%	73,58%	30,18%	35,84%	30,18%

RESULTADOS

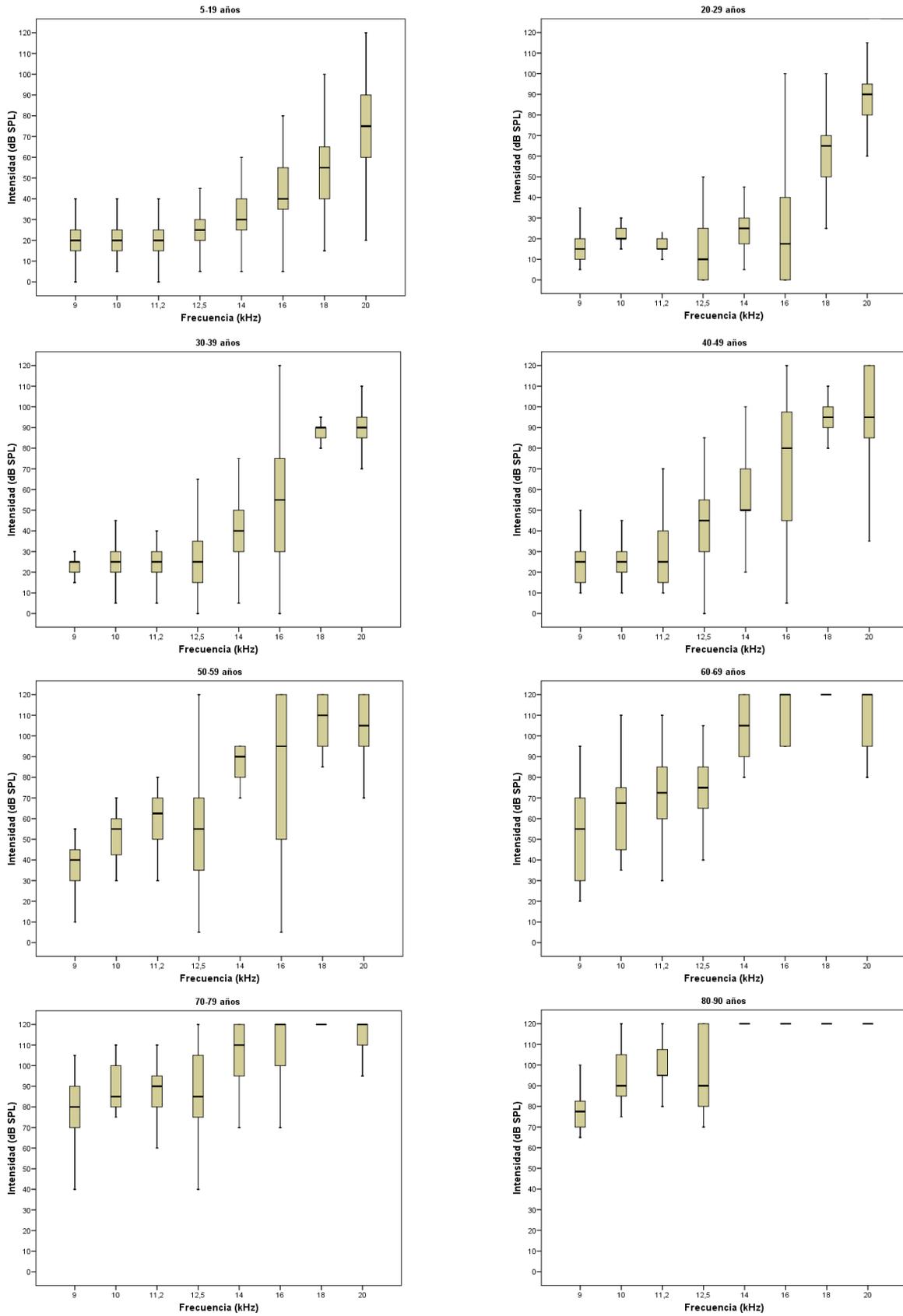


Figura 9. Umbral de audición en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9 – 20 kHz) representados mediante diagrama de cajas. La línea horizontal en cada caja representa la mediana, las cajas representan los cuartiles y los bigotes representan los valores máximo y mínimo de la serie.

El 100% de los sujetos fue capaz de detectar tonos puros de al menos 120 dB SPL en las frecuencias de 9 a 11,2 kHz. Por encima de 12,5 kHz el número de sujetos que no respondieron a la intensidad máxima de sonido expuesta aumentó a medida que se incrementaba la frecuencia, especialmente en los grupos de mayor edad (Tabla 13).

Umbral de audición en los sujetos más jóvenes:

Al comparar los dos grupos de menor edad, los más jóvenes (5-19 años) presentaban umbrales de audición más elevados (peores) que el grupo de 20-29 años en las frecuencias 9-16 kHz, al igual que ocurría en las FC, sin encontrar diferencias estadísticamente significativa. En 18 y 20 kHz los umbrales de audición fueron peores en los sujetos de 20-29 años (Tabla 13; Fig. 9; ANEXO 6, Fig. 2). Estos resultados también se encontraron al comparar otros grupos de edad: de 5 a 17 años y de 18 a 25 años (ANEXO 7, Table 2).

Umbral de audición en función del sexo:

Al analizar la media de los umbrales de audición en función del sexo (Tablas 9 y 10), se encontraron diferencias estadísticamente significativas en 12,5 y 16 kHz en el grupo de edad de 20-29 años, en 16 kHz en el grupo de 30-39 años, en 11,2 y 16 kHz en el grupo de 40-49 años, en 10 kHz en el grupo de 50-59 años, y en 12,5 kHz en el grupo de 60-69 años (Fig. 10), siendo en todos los casos la audición mejor en las mujeres. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los grupos de 5-19, 70-79 y 80-90 años.

4.2.2. Comparación con estudios previos

La forma de la curva de los umbrales de audición es similar al comparar el presente trabajo con la mayoría de los publicados previamente (ANEXO 6, Fig. 5).

En aquellos estudios en los que se realizó un análisis estadístico para comparar el valor de la media y la DE (ANEXO 6, Table 3), los umbrales de audición fueron peores que los umbrales del presente estudio. La diferencia entre los estudios se incrementaba a medida que aumentaba la frecuencia, aunque la media de los umbrales en las

frecuencias más altas era similar en los grupos de más edad. En todos los estudios la DE aumentaba a medida que se incrementaba la frecuencia. En las frecuencias más altas la DE disminuía, posiblemente debido al efecto techo.

4.2.3. Comparación de auriculares

En la norma ISO 389-5 (2006) se establecen los RETSPL para una serie de auriculares que se utilizan en la audiometría con EAF. Estos auriculares son Sennheiser HDA 200 y Etymotic Research ER-2. Los RETSPL del auricular Koss HV/1A están establecidos en la anterior versión de la norma ISO 389-5. Pero en el mercado existe gran variedad de auriculares que se han utilizado en la audiometría con EAF.

Para poder realizar la comparación de auriculares utilizados en estudios previos, se seleccionaron los sujetos con edades comprendidas entre los 5 y 25 años, a los que se les realizó el estudio audiométrico con EAF (223 sujetos; 117 hombres y 106 mujeres). La muestra se dividió en 2 grupos: 5-17 años (n=121) y 18-25 años (n=102), similar a como se divide en otros estudios.

Se calculó la media, mediana y DE de los sujetos seleccionados (ANEXO 7, Table 2), y la mediana de aquellos estudios que usaron auriculares circumaurales (Koss HV/1A, Sennheiser HDA 200, Sennheiser HD 250 y Koss Pro/4X) o de inserción (ANEXO 7, Table 1).

Koss HV/1A: Schechter *et al.* (1986) en el grupo de 5-17 años y Fausti *et al.* (1981) en el grupo de 18-25 años obtuvieron los umbrales más bajos.

Tanto la media de los valores de ambos grupos, como el promedio de los dos grupos unidos, era similar a los valores establecidos en la norma ISO 389-5 (ANEXO 6, Fig. 1).

Sennheiser HDA 200: Solo la población estudiada por Reuter *et al.* (1998) aporta datos para el rango de edad de 5-17 años. La población de Frank (2001), Reuter *et al.* (1998), y los trabajos que sirvieron para elaborar la norma ISO 389-5 (Gössing y Richter, 2003; Han y Poulsen, 1998; Schönfeld *et al.*, 2003; Takeshima *et al.*, 1995) aportan datos para el rango de edad de 18-25 años.

RESULTADOS

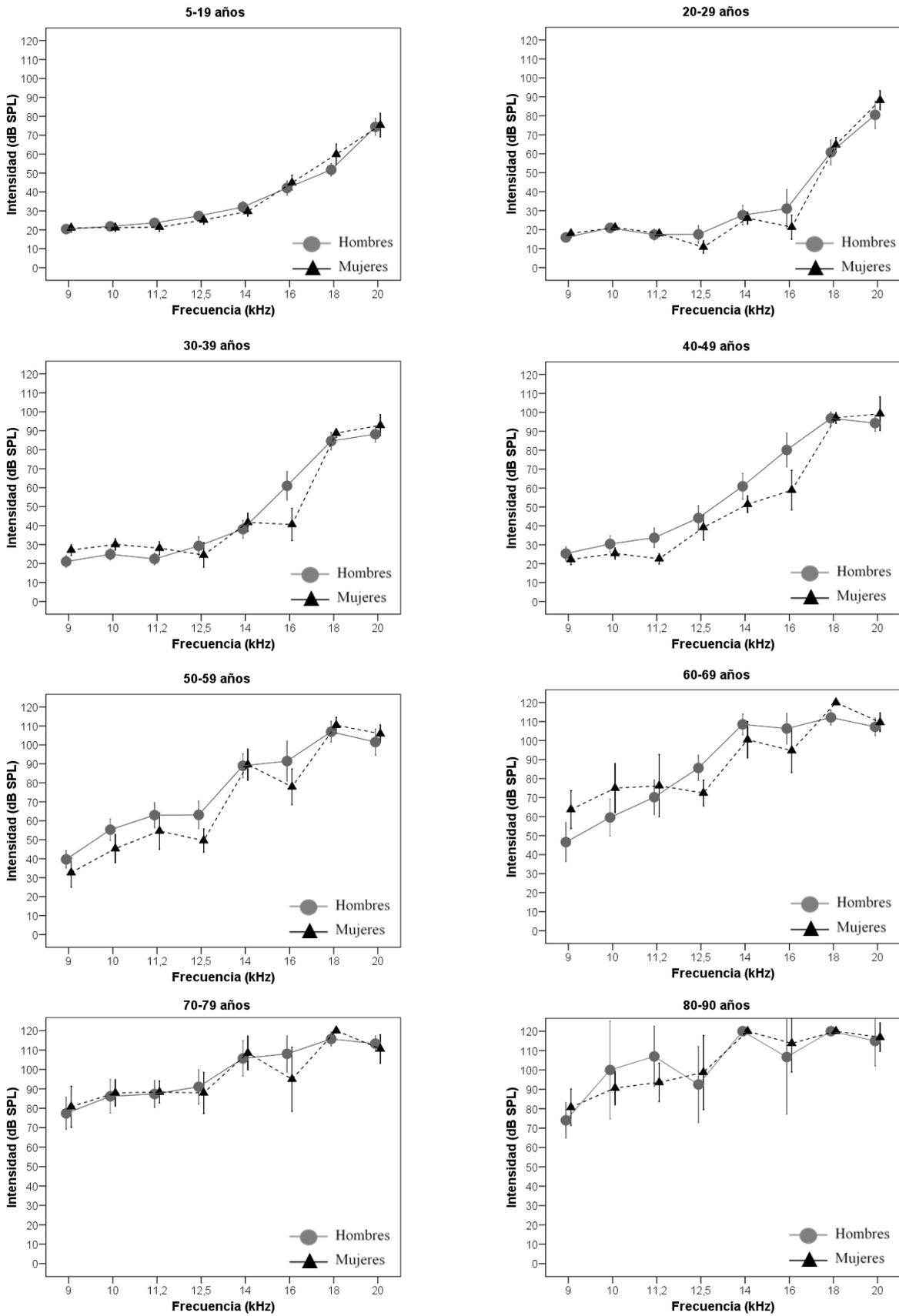


Figura 10. Media de los umbrales de audición en función del sexo (en dB SPL) para cada grupo de edad en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9 - 20 kHz). Las barras de error representan el IC 95%.

Se observaron diferencias no significativas en 8; 11,2; 12,5 y 16 kHz en el grupo de 5-17 años; en el grupo de 18-25 años había una diferencia de 7 dB en 16 kHz al comparar las medias de los valores con la norma ISO 389-5. Al comparar el promedio de ambos grupos con la ISO 389-5, había una diferencia de 5 dB en 16 kHz (ANEXO 7, Fig. 2).

Sennheiser HD 250: No se encontraron diferencias entre los valores aportados por Frank (1990) para los auriculares Sennheiser HD 250 y los obtenidos con los auriculares Sennheiser HDA 200.

Auriculares de inserción: Existen diversos tipos de auriculares de inserción. El auricular de inserción Etymotic Research ER-2 es el utilizado en la elaboración de la norma ISO 389-5 (2006), que está basada en los resultados de dos autores (Han y Poulsen, 1998; Richter, 2003). Otros autores han publicado sus resultados utilizando otros auriculares de inserción en distintos grupos de edad (ANEXO 7, Fig. 3).

Comparando la media de los valores para el auricular ER-2 con los otros auriculares de inserción, se puede observar que la mayor diferencia es de 4 dB en 12,5 kHz (ANEXO 7, Fig. 4).

Los resultados obtenidos usando auriculares circumaurales se compararon con los estudios que usaron auriculares de inserción (ANEXO 7, Fig. 5) en los grupos de edad donde se tenían suficientes datos disponibles (5-19, 20-29, 40-49 y 50-59 años). Al comparar ambos tipos de auriculares se encontró que la mayor diferencia hasta 16 kHz era de 5 dB en 12,5 kHz. En 18 y 20 kHz estas diferencias eran mayores. Debido a que hasta 16 kHz la mayor diferencia es de solo 5 dB en 12,5 kHz, se podrían plantear unos RETSPL comunes para cualquier tipo de auricular que se utilice en la audiometría con EAF (Tabla 14), al menos hasta 16 kHz, que es la frecuencia más alta incluida en las diferentes normas ISO.

Tabla 14. Propuesta de unos RETSPL comunes para todos los auriculares utilizados en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9 – 16 kHz). Los valores están expresados en dB SPL. (Modificado de Rodríguez Valiente et al. 2014b; ANEXO 7, Table 3).

	Frecuencia (kHz)					
	9	10	11,2	12,5	14	16
Media	19	22	24	27	35	50
Mediana	19	22	23	28	34	51
DE	2,84	3,96	4,46	6,19	5,67	9,46

1. DISCUSIÓN

Resumen:

La pérdida de audición comienza en las frecuencias más altas y va progresando hacia las frecuencias más bajas a medida que avanza la edad; siendo los umbrales de audición semejantes entre los distintos autores. Unos rangos de normalidad, expresados mediante percentiles, pueden ser de utilidad para definir de forma más precisa la pérdida auditiva en cada sujeto en función de su grupo de edad. Todos los sujetos deberían presentar audición al menos hasta 11,2 kHz.

Existe disparidad de opinion en cuanto a la diferencia en los umbrales de audición en función del sexo debido a la gran variabilidad en los distintos estudios. Se han encontrado diferencias en los umbrales de audición entre hombres y mujeres en algunas frecuencias, y dependiendo del grupo de edad. Las frecuencias más afectadas por estas diferencias son 12,5 y 16 kHz, que son las frecuencias influenciadas por la resonancia del conducto auditivo externo y por la exposición al ruido.

Los valores reflejados en la norma ISO 7029 (2000) presentan una serie de sesgos debido a los estudios utilizados en su elaboración y a la limitación en los grupos de edad. Por esto, es necesaria una actualización de estos datos.

No está clara la existencia de diferencias entre poblaciones con cribado auditivo y sin cribar, como se establece en la norma ISO 1999 (2003). Los datos de la muestra que aquí se exponen podrían utilizarse como representativos de la población española. De esta forma pueden ser empleados en la comparación con la audición de cualquier sujeto perteneciente a esta sociedad.

Para la audiometría con extensión en altas frecuencias se pueden utilizar distintos auriculares circumaurales (Sennheiser HDA 200, Sennheiser HD 250 y Koss HV/IA) o de inserción (ER-2 y otros), aunque solo algunos de ellos están normalizados en la ISO 389-5 (2006).

5.1. FRECUENCIAS CONVENCIONALES (125 - 8.000 Hz)

5.1.1. Umbrales de audición

El presente trabajo recopila datos audiométricos de una muestra representativa de la población española, incluyendo sujetos de entre 3 y 90 años. El incremento (empeoramiento) del umbral de audición en función de la frecuencia y la edad coincide con los resultados de la mayoría de los autores (Reuter *et al.*, 1998; Schechter *et al.*, 1986; Stelmachowicz *et al.*, 1989; Wiley *et al.*, 1998).

El aumento en la dispersión de los datos al aumentar la frecuencia demuestra la gran variabilidad de respuesta encontrada en la población general (Fausti *et al.*, 1981; Schechter *et al.*, 1986; Stelmachowicz *et al.*, 1989), especialmente en las frecuencias más altas. La dispersión de los valores del umbral auditivo al aumentar la edad sugiere que la capacidad auditiva se hace más heterogénea con la edad (Allen y Eddins, 2010).

Las Tablas 4 y 5 muestran los valores de los umbrales auditivos en función de la edad y el sexo para la población estudiada. Se muestran además unos rangos de normalidad, expresados mediante percentiles en las Tablas 6 y 7. Estos datos pueden ser de utilidad a la hora de evaluar el grado de pérdida auditiva, no solo en pacientes jóvenes, sino también en los de mayor edad. El disponer de unos valores estándar y unos rangos de normalidad permite definir de forma más precisa la pérdida auditiva en cada sujeto en función de su grupo de edad.

A la hora de establecer unos rangos de normalidad se podrían usar los percentiles, al igual que se hace con otras medidas antropométricas como son el peso o la talla. De esta forma en el ANEXO 4 se exponen los valores de normalidad, expresados mediante los percentiles, de los umbrales de audición para los distintos grupos de edad expresados en rangos de 5 años.

Umbrales de audición en los sujetos más jóvenes:

Hay estudios que indican que la audición va mejorando desde la infancia hasta la edad de 8 a 12 años (Hallmo *et al.*, 1995) tanto en FC como en EAF.

Los resultados aquí expuestos muestran como el grupo de 5-19 años presenta peor audición que el grupo de 20-29 años, tanto en FC (125-8.000 Hz) como en EAF, hasta 16 kHz. Algunos autores atribuyen este efecto a un posible problema de concentración en los sujetos más jóvenes, o problemas en el ajuste de los auriculares. En este trabajo se ha observado cómo a los sujetos más jóvenes les costaba más concentrarse al realizar la audiometría, especialmente para ciertos sonidos, se cansaban pronto cuando pasaban unos minutos sentados, y se distraían más fácilmente. Sin embargo, esta peor audición en los sujetos más jóvenes también se puede atribuir a diferencias en el volumen (longitud y diámetro) del conducto auditivo, ya que las mayores diferencias se encontraban en las frecuencias donde la resonancia del conducto auditivo es importante (12,5 y 16 kHz). En cualquier caso, estas diferencias entre ambos grupos no eran estadísticamente significativas.

Umbrales de audición en función del sexo:

La norma ISO 7029 (2000) distingue entre hombres y mujeres, aunque solo hay diferencias significativas en los grupos de más edad. Algunos trabajos han encontrado que la audición de las mujeres es mejor que la de los hombres (Agrawal *et al.*, 2008; Burén *et al.*, 1992; Osterhammel y Osterhammel, 1979; Robinson y Sutton, 1979; Rosenhall *et al.*, 1990; Spoor, 1967), mientras que otros autores no han visto diferencias (De Seta *et al.*, 1985; Goycoolea *et al.*, 1986; Green *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 2012; Rosen, 1964; Stenklev y Laukli, 2004). Corso (1963) encontró que las mujeres presentaban peores umbrales de audición en las frecuencias por debajo de 1.000 Hz, mientras que los hombres presentaban peores umbrales de audición a partir de 3.000 Hz en los grupos de edad de 51 a 65 años. En el trabajo de Roche *et al.* (1976), las mujeres jóvenes presentaban umbrales de audición mejores que los

hombres jóvenes en todas las frecuencias, sin embargo estas diferencias no eran estadísticamente significativas.

En sujetos otológicamente normales en base a lo establecido en la norma ISO 7029, es decir, en poblaciones cribadas auditivamente, los estudios que valoran las diferencias entre hombres y mujeres presentan resultados divergentes (Hinchcliffe y Jones, 1968; Pearson *et al.*, 1995). En las poblaciones de mujeres mayores no cribadas auditivamente se encuentra que sus umbrales de audición son mejores que los de los hombres (Johanson y Airlinger, 2002). Stenklev y Laukli (2004) encontraron diferencias en bajas frecuencias (125 a 1.000 Hz), presentando las mujeres peores umbrales de audición que los hombres en el oído izquierdo, aunque este efecto no se vio en el oído derecho, y con diferencias estadísticamente significativa usando unos test pero no cuando se usaban otros. Otros estudios no hicieron distinción entre edad o sexo (Roth *et al.*, 2011).

En la población aquí estudiada no se han hallado diferencias estadísticamente significativas en los umbrales de audición entre hombres y mujeres en ningún grupo de edad, ni en ninguna frecuencia del rango de frecuencias convencionales. Dada la gran variabilidad interindividual en los grupos de más edad en las frecuencias más altas (Fig. 5 y 6), la influencia del género sería muy difícil de establecer, y cualquier diferencia detectada podría ser casual. Las diferencias encontradas en algunos trabajos podrían estar justificadas por las diferencias en los métodos de cribado y en los modelos estadísticos. Sin embargo, otros factores ambientales o genéticos pueden haber influido (Blanchet *et al.*, 2008). Pearson *et al.* (1995) y Rodríguez Valiente *et al.* (2014a) propusieron que los mejores umbrales auditivos que presentaban las mujeres en bajas frecuencias podrían deberse a un artefacto acústico debido a la diferencia anatómica en el conducto auditivo externo, ya que el de las mujeres suele tener un volumen menor.

5.1.2. Comparación con la ISO 7029 (2000)

La pérdida de audición que se produce en función de la edad, en sujetos otológicamente normales, ha

sido codificada en la norma ISO 7029 (2000). Esta norma proporciona datos estadísticos de los umbrales de audición para una población de entre 18 y 70 años de edad, donde se especifica la mediana del umbral de audición esperado en función de la edad, y se hace basándose en la mediana del umbral de audición de un grupo de sujetos de 18 años. También se refleja en la norma ISO 7029 la distribución estadística esperada tanto por encima como por debajo de la mediana. Sin embargo hay varios inconvenientes relativos a la norma ISO 7029 (2000):

a) Los datos están basados en estudios de los años 50, 60 y 70 (Corso, 1963; Glorig y Nixon, 1962; Hinchcliffe, 1959; Hinchcliffe y Jones, 1968; Jatho y Heck, 1959; Kell *et al.*, 1970; Roche *et al.*, 1976; Taylor *et al.*, 1967). La población estudiada es muy diferente, incluso en muchos casos no se especifica qué tipo de población se estudia (Jatho y Heck, 1959). La distribución por edades varía entre estudios (por ejemplo de 30 a 39 años, y de 25 a 34 años). Solo Roche *et al.* (1976) analizó sujetos menores de 18 años. Algunos autores estudiaron solo hombres (Glorig y Nixon, 1962) y otros solo mujeres (Taylor *et al.*, 1967). Algunos estudios calcularon la media, y otros la mediana como medidas de tendencia central, y la mitad de los estudios no proporcionaron datos de dispersión (Robinson y Sutton, 1979). Hay también variaciones en los auriculares empleados, siendo el más frecuentemente utilizado el TDH-39 (Hinchcliffe y Jones, 1968; Taylor *et al.*, 1967). Solo Taylor *et al.* (1967) aporta datos en las frecuencias de 125 y 250 Hz. Hinchcliffe y Jones (1968) justifican medir las frecuencias a partir de 500 Hz por el hecho de que las frecuencias por debajo de 500 Hz pudieron verse enmascaradas por el ruido del aire acondicionado dentro de la habitación. Además, en el estudio de Hinchcliffe y Jones (1968), los sujetos probablemente estaban expuestos al ruido producido por una fábrica de zapatos. Los umbrales de audición de los hombres eran mejores que los de las mujeres en 500, 1.000 y 2.000 Hz (de 1 a 5 dB), quizás debido a una pérdida de audición neurosensorial que se encontró en Jamaica, y que tenía predilección por el sexo femenino. Los umbrales de audición de los

hombres eran 4 dB peor respecto a las mujeres en 4.000 Hz. Esta diferencia en 4.000 Hz se atribuyó a un trauma acústico en los hombres debido al uso de armas de fuego.

Todas estas diferencias entre los estudios ocasionan un sesgo, además de que no todas las poblaciones incluidas en la norma se pueden considerar como otológicamente normales. Asimismo, la sociedad actual está cada vez más expuesta al ruido, y la gente joven escucha música utilizando auriculares a edades cada vez más tempranas, por lo que se podría esperar un empeoramiento en los umbrales de audición en el momento actual respecto a estudios de hace años (Hinchcliffe, 1959; Rodríguez Valiente *et al.*, 2014a; Rosen, 1962).

b) La actual norma ISO 7029 no se puede aplicar a sujetos menores de 18 años, y no incluye sujetos mayores de 70 años. Con los avances en la medicina y las condiciones de vida, la edad media de la población está aumentando. Hay cada vez un número mayor de sujetos con una edad superior a los 70 años. Por lo tanto, sería útil disponer de datos para estos sujetos mayores de 70 años, al igual que para los menores de 18 años.

c) Los datos presentes en la norma ISO 7029 están calculados en base a un complejo análisis estadístico (Robinson y Dadson, 1956; Robinson y Sutton, 1978, 1979), basado en la descripción de Robinson y Dadson (1956). Además, el cálculo de los umbrales de audición se describió para hacerlo en campo libre, y no con el uso de auriculares.

Para el cálculo de la desviación del umbral de audición es necesario emplear tres ecuaciones y tablas donde se muestran varios coeficientes y parámetros (α , b_u , b_l , k). Todo esto hace que su uso sea muy complejo y que la norma ISO 7029 sea poco práctica. Tanto es así que en el Anexo C de la norma se muestra un ejemplo de cómo debería de hacerse el cálculo.

En el presente trabajo se puede apreciar cómo los umbrales de audición son peores en casi todas las frecuencias si los comparamos con la norma ISO 7029, especialmente en el rango de 125 a 500 Hz (Fig. 7 y 8). Blanchet *et al.* (2008) encontraron que los umbrales de audición de los hombres en una

población envejecida eran comparables a los umbrales teóricos de la norma ISO, y que las mujeres presentaban unos umbrales de audición mejores en 3.000 y 4.000 Hz, aunque eran peores en el resto de frecuencias.

5.1.3. Población con cribado y sin cribado auditivo

La norma ISO 1999 (2013) establece los umbrales auditivos para dos poblaciones no expuestas de forma significativa al ruido: para una población con cribado auditivo en el *Anexo A* (sujetos otológicamente normales), y para una población no cribada en el *Anexo B* (población típica de una sociedad industrializada).

Los umbrales de audición del anterior *Anexo B* (ISO 1999: 1990), basados en el estudio de Clark y Bohl (1992), fueron reconocidos como no necesariamente apropiados para aplicación a nivel mundial. Existen diferencias a nivel internacional debido a los diferentes estilos de vida, exposición a ruido de forma laboral o recreativa, diferente incidencia de enfermedades o uso de fármacos ototóxicos. Debido a estas diferencias se recomendó el uso de una base de datos propia para cada país. El *Anexo B* de la actual norma ISO 1999 (2013) proporciona tres ejemplos de poblaciones no cribadas: Suecia (Johanson y Arlinger, 2002), Noruega (Engdahl *et al.*, 2005) y Estados Unidos (Hoffman *et al.*, 2010, 2012).

Pero la diferencia entre una población con cribado auditivo y no cribada no está del todo clara. La definición de población *otológicamente normal* (*altamente cribada*) de acuerdo con la norma ISO 7029 es una persona con un estado de salud normal que no presente signos o síntomas de enfermedad otológica o cerumen que obstruya el conducto auditivo, y que no haya tenido una exposición indebida a ruido. Esta definición es la que se usó para seleccionar los sujetos incluidos en la norma ISO 7029. Una definición más estricta de sujeto *otológicamente normal* es la que se usa en las normas ISO 389-1, ISO 8253-1, e ISO 8253-2, en la que además se excluye a las personas con exposición a fármacos potencialmente ototóxicos o que presenten historia familiar de hipoacusia.

Sin embargo, los criterios de selección para una población no cribada en la norma ISO 1999 no están claros y varían de un estudio a otro. Cada autor sigue diferentes criterios, y la definición no está regulada por ninguna norma que especifique los criterios que debe de cumplir. El único criterio seguido es “*no exposición a ruido ocupacional*”. Además, algunos autores basan sus resultados en los cálculos de la audición del mejor oído, excluyendo el otro. Todo esto ocasiona importantes sesgos.

Algunos autores creen que el hacer un cribado auditivo causa un efecto mínimo en el valor de la media o mediana de los umbrales de audición (Engdahl *et al.*, 2005; Lutman y Davis, 1994), excepto cuando el cribado se hace en hombres por encima de 40 años con historia de exposición a ruido (Engdahl *et al.*, 2005).

Los umbrales auditivos descritos por Engdahl *et al.* (2005) son similares a los descritos por Johansson y Arlinger (2002), y Kell *et al.* (1970). Los datos de Johansson y Arlinger (2002) fueron utilizados para elaborar el *Anexo B* de la norma ISO 1999 (2013), basados en una población no cribada; mientras que los datos de Kell *et al.* (1970) fueron utilizados por el comité técnico de la ISO (TC43) para elaborar la norma ISO 7029 (población con cribado auditivo).

Stenkew y Laukli (2004) no pudieron concluir que los umbrales de audición en su muestra con cribado auditivo fuesen mejores que los de su muestra no cribada. Resultados similares se encuentran en estudios previos (Rosenhall *et al.*, 1990).

La diferencia en los umbrales de audición entre la población otológicamente normal y la no cribada va a depender de la proporción de sujetos con patología incluidos en la muestra. En algunos casos la proporción es muy pequeña, o solo se ha incluido el mejor oído, por lo que la diferencia entre los cribados y los no cribados será mínima.

Esto sugiere que quizás la población no está tan seleccionada en los estudios de poblaciones con cribado auditivo, o que la población está parcialmente seleccionada en los estudios basados en poblaciones no cribadas auditivamente. Por esta

razón la diferencia entre una población con cribado auditivo y no cribada no está aún definida.

La base de datos del *Anexo B* para la población no cribada establecido en la ISO 1999 (1990) fue propuesta como la base con la que comparar la audición de los grupos expuestos a ruido (Lawton, 1998). Aunque en vista de los resultados anteriores, quizás sería mejor comparar los sujetos expuestos a ruido con una población otológicamente normal para establecer la pérdida auditiva debida al ruido. Esto debería ser así ya que los sujetos expuestos a ruido no tienen porqué tener otra patología que les cause pérdida de

audición. Carece de sentido comparar los sujetos expuestos a ruido con sujetos con infección de oído, exposición a fármacos ototóxicos o síndromes asociados a pérdida auditiva.

De esta forma, en este trabajo se presenta una base de datos con umbrales de audición representativos de la población española con cribado auditivo. Este trabajo contribuye además aportando más información al limitado número de estudios llevados a cabo en poblaciones del área mediterránea, y que podría ser tenido en cuenta en próximas actualizaciones de normas ISO.

5.2. EXTENSIÓN EN ALTAS FRECUENCIAS (9.000 – 20.000 Hz)

5.2.1. Umbrales de audición

La variación de los umbrales de audición en función de la frecuencia y del sexo encontrados en la población aquí estudiada coincide con los resultados de la mayoría de los estudios. La pérdida de audición ocurre primero en las frecuencias más altas y de forma progresiva se extiende a las frecuencias más bajas (Reuter *et al.*, 1998; Schechter *et al.*, 1986; Stelmachowicz *et al.*, 1989; Wiley *et al.*, 1998).

La dispersión de los datos a medida que aumenta la frecuencia (Tabla 9 y 10) demuestra la gran variabilidad de los umbrales de audición en la población general. Esta variabilidad se podría explicar por factores como las diferencias individuales en el proceso de envejecimiento, la calidad de la dieta, así como por factores ambientales que influyen en la audición (Fausti *et al.*, 1981; Schechter *et al.*, 1986; Stelmachowicz *et al.*, 1989).

Estos resultados también coinciden con la tendencia general hacia el empeoramiento gradual de la audición a medida que aumenta la frecuencia y a medida que se avanza en la edad (Fig. 9 y 10). La ausencia de respuesta auditiva a la máxima intensidad del sonido expuesto (120 dB SPL) en los grupos de mayor edad concuerda con los resultados de otros autores (Frank, 1990;

Schechter *et al.*, 1986; Stelmachowicz *et al.*, 1989; Wiley *et al.*, 1998).

Todos los sujetos otológicamente normales deberían tener audición al menos hasta 11,2 kHz. La capacidad de oír entre 12,5 y 20 kHz va a depender del grupo de edad (Tabla 13).

Umbrales de audición en los sujetos más jóvenes:

Esta diferencia entre los grupos de menor edad ya ha sido comentada en el apartado de FC. En EAF los sujetos más jóvenes presentaban peor audición hasta 16 kHz, aunque ninguna de estas diferencias era estadísticamente significativa. La comparación entre los dos grupos de menor edad del estudio de Hallmo *et al.* (1995) muestra que los umbrales en EAF eran peores a los 8-14 años que a los 18-24 años, con la excepción de la frecuencia 20 kHz.

Umbrales de audición en función del sexo:

Varios trabajos demuestran que la audición en las mujeres es mejor que la de los hombres en la audiometría con EAF (Burén *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2005; Le Prell *et al.*, 2013; Matthews *et al.*, 1997; Stelmachowicz *et al.*, 1989; Wiley *et al.*, 1998); aunque otros autores no han encontrado diferencias (Osterhammel y Osterhammel, 1979; De Seta *et al.*, 1985; Green *et al.*, 1987; Stenklev y Laukli, 2004; Lee *et al.*, 2012).

En este trabajo las frecuencias en las que se han encontrado diferencias entre hombres y mujeres varían en función del grupo de edad (12,5 y 16 kHz en el grupo de 20-29 años, 16 kHz en el grupo de 30-39 años, 11,2 y 16 kHz en el grupo de 40-49 años, 10 kHz en el grupo de 50-59 años, y 12,5 kHz en el grupo de 60-69 años). De esta forma se puede observar cómo la mayor parte de las diferencias se encuentran en las frecuencias 12,5 y 16 kHz (Fig. 10), que son las frecuencias afectadas por la resonancia del conducto auditivo externo y por la exposición a ruido.

Estos datos concuerdan con los de Lee *et al.* (2012), que encontró que las frecuencias en las que había diferencia entre hombres y mujeres eran aquellas más vulnerables por el ruido. Otros autores (Gerhardt *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 2012) han propuesto que el hecho de que el conducto auditivo de las mujeres sea más pequeño en longitud y volumen podría ser el responsable de la mejor audición en las mujeres en estas frecuencias, ya que el umbral auditivo se relaciona con el volumen del conducto auditivo (Hellström, 1995). Sin embargo podría haber otras explicaciones como son la diferente exposición a ruido entre hombres y mujeres, tanto en el ambiente laboral como recreativo, o la diferente audición como resultado de un diferente origen filogenético. Además, el proceso de envejecimiento es diferente en hombres y mujeres. Hay muchos factores relacionados con la salud que influyen en la audición (tabaco, hipertensión, diabetes mellitus), y que pueden también influir en las diferencias encontradas entre hombres y mujeres (Agrawal *et al.*, 2008; Agrawal *et al.*, 2009). Sin embargo no se encontraron diferencias en los grupos más jóvenes, y esto puede ser debido a que a esas edades no hay diferencias estructurales en el conducto auditivo, o porque los factores externos que afectan a la audición aún no han influido. Igualmente no se encontraron diferencias en los grupos de 70-79 y 80-90 años, posiblemente debido a que los umbrales auditivos eran muy elevados, incluso sin respuesta en la mayoría de las frecuencias, haciendo que, en caso de haber diferencias, estas fuesen difícil de detectar.

5.2.2. Comparación con estudios previos

Hasta el momento, el número de trabajos que comparan sus resultados con los de otros autores es muy limitado, debido a la necesidad de disponer de los datos originales de los otros autores (media o mediana y DE de cada uno de los sujetos incluidos en el estudio). En la representación gráfica de los umbrales de audición, la curva que se describe es similar en la mayoría de los estudios (ANEXO 6, Fig. 5); esto indica que a pesar de la variabilidad en la muestra, los resultados son comparables. Además, la mayoría de las curvas son paralelas, lo que sugiere que las diferencias que haya no se pueden explicar solamente por la resonancia del conducto auditivo externo (Stelmachowicz *et al.*, 1989).

Los umbrales de audición del presente estudio son mejores que los de la mayoría de los autores (ANEXO 6, Table 3). Sin embargo, la media de los umbrales de audición en los grupos de mayor edad es similar en las frecuencias más altas, posiblemente debido al efecto techo. La DE de todos los estudios aumenta al aumentar la frecuencia, y en las frecuencias más altas disminuye. Esto podría ser debido al pequeño número de sujetos que responden en estas frecuencias y a la pequeña variabilidad que hay en la intensidad a la que responden, que es a intensidades muy altas.

Dado que los resultados entre los distintos autores son comparables, sería posible establecer unos umbrales de audición en EAF comunes para todas las poblaciones, y que podría ser utilizado a nivel internacional (ANEXO 6, Table 4).

5.2.3. Comparación de auriculares

En el mercado hay diversos tipos de auriculares que se han utilizado en la audiometría con EAF, tanto circumaurales como de inserción. Sin embargo, solo disponemos de RETSPL para los auriculares Sennheiser HDA 200, Etymotic Research ER-2 y Koss HV/1A (ISO 389-5). La actual norma ISO 389-5, además de limitarse en el análisis de estos pocos auriculares, se basa en muy pocos estudios, lo que ocasiona importantes sesgos (Rodríguez Valiente *et al.*, 2014b).

Al comparar los distintos tipos de auriculares se analizaron los sujetos entre 5 y 25 años, ya que la mayoría de los trabajos utilizan estos rangos de edad. Las diferencias encontradas entre los grupos de 5-17 años y 18-25 años concuerdan con los resultados de estudios previos. En el trabajo de Hallmo *et al.* (1995) se encontró que los umbrales eran peores en el grupo de 8-14 años que en el de 18-24 años, excepto en 20 kHz; al igual que en el trabajo de Beahan *et al.* (2012), donde los umbrales eran peores en el grupo de 4-6 años que en los grupos de mayor edad.

En la mayoría de los estudios se utilizaron auriculares circumaurales o de inserción para la audiometría con EAF.

Al comparar el promedio de los valores de los autores que usaron auriculares circumaurales (Sennheiser HDA 200, Sennheiser HD 250 y Koss HV/1A) con la norma ISO 389-5 (2006) se vio que

éstos eran similares. El resultado de estos trabajos es importante porque aportan datos hasta 20 kHz, mientras que la norma ISO 389-5 solo aporta datos hasta 16 kHz.

Además de los dos autores que contribuyen con sus datos a la norma ISO 389-5 (2006) para el auricular de inserción ER-2 (Han y Poulsen, 1998; Richter, 2003), otros autores (Green *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 2012; Stelmachowicz *et al.*, 1989) aportan datos para otros auriculares de inserción, hasta 20 kHz; cuyos resultados son similares.

La media de los valores de los tres tipos de auriculares circumaurales (Sennheiser HDA 200, Sennheiser HD 250 y Koss HV/1A) y de inserción analizados son superponibles hasta 16 kHz (ANEXO 7, Fig. 5). De esta forma se podrían establecer unos RETSPL comunes para estos auriculares, al menos hasta 16 kHz (Tabla 14).

5.3. APLICACIONES PRÁCTICAS

La base de datos elaborada en este trabajo constituye una herramienta de gran valor y utilidad, no solo dentro del campo de la audiolgía, sino también de la Salud Pública y de la medicina clínica, legal y preventiva.

a) En primer lugar, constituye una referencia única que es aplicable a la población española, ya que todos los datos que se tienen hasta el momento proceden de poblaciones distintas a la española. A partir de estos datos se puede hacer un estudio de la prevalencia de la presbiacusia y otras causas de hipoacusia en la población española.

b) Los valores audiométricos aquí expuestos podrían ser utilizados en la próxima actualización de la norma ISO 7029, que se está llevando a cabo en este momento (Technical Committee ISO/TC 43, *Acoustics*), y que establece la distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad.

c) Permitirá estudiar sujetos expuestos al ruido, y valorar el déficit auditivo provocado por el ruido ambiental, denominado “*socioacusia*”, siguiendo

así las recomendaciones de la norma ISO 1999 (utilizada en la determinación de la exposición a ruido laboral y estimación de la pérdida auditiva inducida por ruido). En esta norma se recomienda que cada país establezca sus propias referencias de normalidad, y se representan los valores de poblaciones de Suecia, Noruega y Estados Unidos. La base de datos que aquí se propone podría ser utilizada en la estimación de la pérdida auditiva inducida por ruido para la población española.

d) Estos valores de normalidad en las distintas frecuencias tendrían también una aplicación en medicina legal a la hora de evaluar la minusvalía producida por la pérdida de audición.

e) Pero la base de datos aquí expuesta no solo incluye las frecuencias medidas de forma habitual, las frecuencias convencionales (125-8.000 Hz), sino que también incluye la extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz).

Realizar la audiometría con EAF tiene un interés capital en el diagnóstico precoz de lesiones

auditivas por diversas causas (Adam *et al.*, 2008; Güngör *et al.*, 2000, Rodríguez Valiente *et al.*, 2015b):

- Personas expuestas a ruido.
- Pacientes en tratamiento con fármacos ototóxicos.
- Pacientes que sufren enfermedades sistémicas que puedan causar hipoacusia neurosensorial, como la enfermedad de Fabry (Germain, 2000), enfermedades autoinmunes (Rodríguez Valiente *et al.*, 2015b) y enfermedades autoinflamatorias como la Fiebre Mediterránea Familiar (Koybasi *et al.*, 2012).
- Pacientes que hayan recibido radioterapia en la región de cabeza y cuello.
- Pacientes con acúfenos.

Especialmente en los casos en los que la audiometría convencional es normal y a pesar de eso se sospecha algún tipo de afectación auditiva, la audiometría con EAF puede permitir un diagnóstico temprano en sujetos con riesgo auditivo.

f) Los valores de normalidad obtenidos en este estudio se pueden usar para diseñar material diagnóstico en audiolgía (frases y palabras) para el estudio del entendimiento de la palabra y la discriminación verbal, especialmente en ambientes ruidosos. Es conocido el componente que tiene la extensión en altas frecuencias en el lenguaje, sobre todo en las consonantes fricativas (Rodríguez Valiente *et al.*, 2009). Las frecuencias medias proporcionan la información fundamental del habla. Las altas frecuencias proporcionan información adicional al sonido, añadiendo claridad y calidad, y hacen que el habla sea más inteligible. Aunque la importancia que tiene la EAF en el entendimiento del lenguaje está aún en estudio, estas frecuencias podrían tener gran importancia, sobre todo en ambientes con ruido.

g) Estos estudios pueden tener una aplicación directa en el diseño y en la adaptación de audífonos, pues ya se están utilizando técnicas como la compresión y la transposición frecuencial para conseguir que el oído dañado pueda recibir de alguna forma la información correspondiente a frecuencias más altas.

6. CONCLUSIONES

Principal:

Se han establecido unos valores para los umbrales de audición de una muestra poblacional que es representativa de la población española. Estos valores se han representado mediante la media, mediana y desviación estándar.

Además, se han constituido unos patrones de normalidad de la totalidad del espectro auditivo

humano, es decir, tanto en la audiometría en frecuencias convencionales (125 - 8.000 Hz) como para la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 - 20.000 Hz). Estos patrones se han distribuido en función del percentil, siendo de gran utilidad a la hora de establecer unos rangos de normalidad.

Secundarias:

1. En las frecuencias convencionales (125-8.000 Hz) no se han encontrado diferencias entre hombres y mujeres. Por lo tanto unos valores comunes para toda la población serían posibles. En la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz) se han encontrado diferencias entre hombres y mujeres en 12,5 y 16 kHz en el grupo de 20-29 años, en 16 kHz en el grupo de 30-39 años, en 11,2 y 16 kHz en el grupo de 40-49 años, en 10 kHz en el grupo de 50-59 años, y en 12,5 kHz en el grupo de 60-69 años, siendo en todos los casos la audición mejor en las mujeres. Por esta razón habría que hacer distinción entre hombres y mujeres en estos grupos de edad y en estas frecuencias concretas.
2. Los umbrales de audición aquí mostrados en las frecuencias convencionales (125-8.000 Hz) son peores comparados con los valores que se establecen en la actual norma ISO 7029 (2000), especialmente en el rango de 125 a 500 Hz.
3. En la norma ISO 1999 (2013), utilizada en la estimación del riesgo auditivo inducido por ruido, se aportan datos para poblaciones sin cribado auditivo.

Sin embargo en el presente estudio no se han encontrado diferencias entre poblaciones con cribado auditivo y sin cribar. Por esta razón los sujetos expuestos a ruido se podrían comparar con la muestra aquí expuesta. Además, cualquier sujeto debería ser comparado siempre con una muestra en la que los sujetos sean otológicamente normales.

4. Los umbrales de audición aquí establecidos para la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz) son mejores que los obtenidos por otros autores, siendo las curvas de audición paralelas a lo largo de las distintas frecuencias. Puesto que los resultados son semejantes entre los distintos autores, se han establecido unos valores que se podrían considerar como estándar a nivel internacional.
5. Los auriculares utilizados en la audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000-20.000 Hz), incluidos y no incluidos en la norma ISO 389-5 (auriculares circumaurales: Sennheiser HDA 200, Sennheiser HD 250 y Koss HV/1A; auriculares de inserción: ER-2 entre otros), son igualmente válidos y con resultados comparables al menos hasta 16.000 Hz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, M., Erkan, A.N., Aíslan, D., Leblebici, B., Ozlüoğlu, L., *et al.* 2008. High-frequency sensorineural hearing loss in patients with ankylosing spondylitis: is it an extrarticular feature of disease? *Rheumatol Int*, 28, 413–7.
- Agrawal, Y., Platz, E.A., Niparko, J.K. 2008. Prevalence of hearing loss and differences by demographic characteristics among US adults. *Arch Intern Med*, 168, 1522–30.
- Agrawal, Y., Platz, E.A., Niparko, J.K. 2009. Risk factors for hearing loss in US adults: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 to 2002. *Otol Neurotol*, 30, 139–45.
- Ahmed, H.O., Dennis, J.H., Badran, O., Ismail, M., Ballal, S.G., *et al.* 2001. High frequency (10-18 kHz) hearing thresholds: reliability, and effects of age and occupational noise exposure. *Occup Med*, 51, 245–58.
- American National Standards Institute. 2004. *Methods for manual pure-tone thresholds audiometry* (ANSI S3.21-2004). New York, ANSI.
- American Speech and Hearing Association. 1978. Guidelines for manual pure-tone threshold audiometry. *ASHA*, 20, 297–301.
- American Speech-Language-Hearing Association. 1994. *Audiologic Management of Individuals Receiving Cochleotoxic Drug Therapy [Guidelines]*. Disponible en: www.asha.org/policy.
- American Speech-Language-Hearing Association. 1994. Guidelines for the audiologic management of individuals receiving cochleotoxic drug therapy. *ASHA*, 36, 11–9.
- American Speech-Language-Hearing Association. 2010. *Information Series- Hearing Loss Types*. Disponible en: www.asha.org/uploadedFiles/aud/InfoSeriesHearingLossTypes.pdf.
- Allen, P.D., Eddins, D.A. 2010. Presbycusis phenotypes form a heterogeneous continuum when ordered by degree and configuration of hearing loss. *Hear Res*, 264, 10–20.
- Beahan, N., Kei, J., Driscoll, C., Charles, B., Khan, A. 2012. High-frequency pure-tone audiometry in children: a test-retest reliability study relative to ototoxic criteria. *Ear Hear*, 3, 104–11.
- Beiter, R.C., Talley, J.N. 1976. High-frequency audiometry above 8,000 Hz. *Audiology*, 15, 207–14.
- Best, V., Carlile, S., Jin, C., Van Schaik A. 2005. The role of high frequencies in speech localization. *J Acoustic Soc Am*, 118, 353–63.
- Blanchet, C., Pommie, C., Mondain, M., Berr, C., Hillaire, D., *et al.* 2008. Pure-tone threshold description of an elderly French screened population. *Otol Neurotol*, 29, 432–40.
- Bonavida Estupiñá, A. 2005. “Conceptos básicos de acústica fisiológica y psicoacústica aplicados al estudio y análisis de la función auditiva y vocal” en Salesa, E., Perelló, E., Bonavida, A. (eds.), *Tratado de audiología*. Barcelona, Masson. P. 76–88.
- Bureau International d’Audiophonologie (BIAP). 1996. *Recommendation 02/1 bis: Audiometric Classification of Hearing Impairments*. Disponible en: www.biap.org/en/recommendations/65-ct-2-classification-des-surdites/5-recommandation-biap-021-bis.
- Burén, M., Solem, B.S., Laukli, E. 1992. Threshold of hearing (0.125–20 kHz) in children and youngsters. *Br J Audiol*, 26, 23–31.
- Clark, W.W., Bohl, C.D. 1992. Corrected values for Annex B of ISO 1999. *J Acoust Soc Am*, 91, 3064–5.
- Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics (CHABA). Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council. Working Group on Speech Understanding and Aging. 1988. Speech understanding and aging. *J Acoust Soc Am.*, 83, 859–95.
- Corso, J.F. 1963. Age and sex differences in pure-tone thresholds. Survey of hearing levels from 18 to 65 years. *Arch Otolaryngol*, 77, 385–405.
- De Seta, E., Bertoli, G.A., Filipo, R. 1985. High-frequency audiometry above 8 kHz. Comparative results of normative thresholds obtained with a headphone system and a quasi-free-field system. *Audiology*, 24, 254–9.
- Doménech Oliva, J. 2005. “Audiometría de alta frecuencia” en Salesa, E., Perelló, E., Bonavida, A. (eds.), *Tratado de audiología*. Barcelona, Masson. P. 163–76.
- Eco, U. 2006. *Cómo se hace una tesis*. 8ª reimpresión. Barcelona, Gedisa.
- Engdahl, B., Tambs, K., Borchgrevink, H.M., Hoffman, H.J. 2005. Screened and unscreened hearing threshold levels for the adult population:

BIBLIOGRAFÍA

- results from the Nord-Trøndelag Hearing Loss Study. *Int J Audiol*, 44, 213-30.
- European Work Group on Genetics of Hearing Impairment (ed. Martini A.). 1996. European Commission Directorate, Biomedical and Health Research Programme Hereditary Deafness, Epidemiology and Clinical Research (HEAR). Infoletter.
- Fausti, S.A., Frey, R.H., Erickson, D.A., Rappaport, B.Z., Cleary, E.J., *et al.* 1979. A system for evaluating auditory function from 8000--20 000 Hz. *J Acoust Soc Am*, 66, 1713-8.
- Fausti, S.A., Erickson, D.A., Frey, R.H., Rappaport, B.Z., Schechter, M.A. 1981. The effects of noise upon human hearing sensitivity from 8000 to 20 000 Hz. *J Acoust Soc Am*, 69, 1343-7.
- Fausti, S.A., Larson, V.D., Noffsinger, D., Wilson, R.H., Phillips, D.S., *et al.* 1994. High-frequency audiometric monitoring strategies for early detection of ototoxicity. *Ear Hear*, 15, 232-9.
- Fausti, S.A., Henry, J.A., Helt, W.J., Phillips, D.S., Frey, R.H., *et al.* 1999. An individualized, sensitive frequency range for early detection of ototoxicity. *Ear Hear*, 20, 497-505.
- Fletcher, H.; Munson, W. A. 1933. Loudness, its definition, measurement and calculation. *J Acoust Soc Am*, 5, 82-108.
- Frank, T. 1990. High-frequency hearing thresholds in young adults using a commercially available audiometer. *Ear Hear*, 11, 450-54.
- Frank, T. 2001. High-frequency (8-16 kHz) reference thresholds and intrasubject thresholds variability relative to ototoxicity criteria using Sennheiser HDA 200 earphone. *Ear Hear*, 22, 161-68.
- Gerhardt, H. C. 1992. Multiple messages in acoustic signals. *Sem Neurosci*, 4, 391-400.
- Gerhardt, K.J., Rodriguez, G.P., Hepler, E.L., Moul, M.L. 1987. Ear canal volume and variability in the patterns of temporary threshold shift. *Ear Hear*, 8, 316-21.
- Germain, D.P. 2000. Fabry disease. Clinical and genetic aspects. Therapeutic perspectives. *Rev Med Interne*, 21, 1086-93.
- Glorig, A., Nixon, J. 1962. Hearing loss as a function of age. *Laryngoscope*, 72, 1596-610.
- Gössing, P., Richter, U. 2003. "Characteristic data of the circumaural earphone Sennheiser HDA 200 in the conventional and the extended high frequency range" en Richter, U. (ed.). *Characteristics data of different kinds of earphones used in the extended high frequency range for pure-tone audiometry*. Braunschweig. PTB report PTB-MA-72.
- Goycoolea, M.V., Goycoolea, H.G., Farfan, C.R., Rodriguez, L.G., Martinez, G.C., *et al.* 1986. Effect of life in industrialized societies on hearing in natives of Easter Island. *Laryngoscope*, 96, 1391-6.
- Green, D.M., Kidd, G. Jr., Stevens, K.N. 1987. High-frequency audiometric assessment of a young adult population. *J Acoust Soc Am*, 81, 485-94.
- Groh, D., Pelanova, J., Jilek, M., Popelar, J., Kabelka, Z., *et al.* 2006. Changes in otoacoustic emissions and high-frequency hearing thresholds in children and adolescents. *Hear Res*, 212, 90-8.
- Güngör, N., Böke, B., Belgin, E., Tunçbilek, E. 2000. High frequency hearing loss in Ullrich-Turner syndrome. *Eur J Pediatr*, 159, 740-4.
- Hallmo, P., Borchgrevink, H.M., Mair, I.W. 1995. Extended high-frequency thresholds in noise-induced hearing loss. *Scand Audiol*, 24, 47-52.
- Han, L.A., Poulsen, T. 1998. Equivalent threshold sound pressure levels for Sennheiser HDA 200 earphone and Etymotic Research ER-2 insert earphone in the frequency range 125 Hz to 16 kHz. *Scand Audiol*, 27, 105-12.
- Hansen, T.S., Brask, T., Larsen, S. 1993. High-frequency air conduction audiometry. Testing a new low impedance circumaural transducer system in normal young persons. *Scand Audiol*, 22, 37-42.
- Hellström, P.A. 1995. The relationship between sound transfer functions and hearing levels. *Hear Res*, 88, 54-60.
- Hervada Vidal, X., Santiago Pérez, M.I., Vázquez Fernández, E., Castillo Salgado, C., Loyola Elizondo, E., *et al.* 2004. EPIDAT 3.0 Programa para análisis epidemiológico de datos tabulados. *Rev Esp Salud Pública*, 78, 277-80.
- Hinalaf, M.A. 2013. *Supresión contralateral de otoemisiones acústicas y pruebas audiológicas subjetivas en la detección temprana de hipoacusias no ocupacionales en la adolescencia*. Tesis doctoral. Córdoba. República Argentina. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba.
- Hinchcliffe, R. 1959. The threshold of hearing as a function of age. *Acustica*, 9, 303-308.
- Hinchcliffe, R., Jones, W.I. 1968. Hearing level of a suburban Jamaican population. *Int Audiol*, 7, 239-258.
- Hoffman, H.J., Dobie, R.A., Ko, C.W., Themann, C.L., Murphy, W.J. 2010. Americans hear as well or better today compared with 40 years ago: hearing threshold levels in the unscreened adult population of the United States, 1959-1962 and 1999-2004. *Ear Hear*, 31, 725-34.

- Hoffman, H.J., Dobie, R.A., Ko, C.W., Themann, C.L., Murphy, W.J. 2012. Hearing threshold levels at age 70 years (65-74 years) in the unscreened older adult population of the United States, 1959-1962 and 1999-2006. *Ear Hear*, 33, 437-40.
- Hughson, W., Westlake, H. 1944. Manual for program outline for rehabilitation of aural casualties both military and civilian. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*, 48, 1-15.
- International Electrotechnical Commission. 1970. *IEC provisional reference coupler for the calibration of earphones used in audiometry*. IEC 60303. Geneva: IEC.
- International Electrotechnical Commission. 1994. *Audiometers - Part 4: Equipment for extended high-frequency audiometry*. IEC 60645-4. Geneva: IEC.
- International Electrotechnical Commission. 2001. *Electroacoustics. Audiological equipment - Part 1: Pure-tone audiometers*. IEC 60645-1. Geneva: IEC.
- International Electrotechnical Commission. 2009. *Electroacoustics. Simulators of human head and ear. Part 1: Ear Simulator for the Calibration of Supra-aural Earphones*. IEC 60318-1. Geneva: IEC.
- International Electrotechnical Commission. 2009. *Electroacoustics-Simulators of human head and ear. Part 2: An interim acoustic coupler for the calibration of audiometric earphones in the extended high-frequency range*. IEC 60318-2. Geneva: IEC.
- International Organization for Standardization. 1990. *Acoustics. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. ISO 1999. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 1996. *Acoustics. Determination of sound insulation performance of cabins. Laboratory and in situ measurements*. ISO 11957. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2000. *Acoustics. Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age*. ISO 7029. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2003. *Acoustics. Normal Equal-Loudness-level Contours*. ISO 226. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2010. *Acoustics. Audiometric test methods - Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry*. ISO 8253-1. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2009. *Acoustics. Audiometric test methods - Part 2: Sound field audiometry with pure-tone and narrow-band test signals*. ISO 8253-2. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 1996. *Acoustics. Determination of sound insulation performance of cabins. Laboratory and in situ measurements*. ISO 11957. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 1998. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and supra-aural earphones*. ISO 389-1. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 1994. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 2: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and insert earphones*. ISO 389-2. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 1994. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 3: Reference equivalent threshold force levels for pure tones and bone vibrators*. ISO 389-3. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2004. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 8: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and circumaural earphones*. ISO 389-4. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2006. *Acoustics-Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 5: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones in the frequency range 8 kHz to 16 kHz*. ISO 389-5. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2007. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 6: Reference threshold of hearing for test signals of short duration*. ISO 389-6. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2005. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions*. ISO 389-7. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2004. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 8: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and circumaural earphones*. ISO 389-8. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2009. *Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment - Part 9: Preferred test*

- conditions for the determination of reference hearing threshold levels.* ISO 389-9. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2013. *Acoustics. Estimation of noise-induced hearing loss.* ISO 1999. Geneva: ISO.
- Jatho, K., Heck, K.H. 1959. Audiometric threshold studies on progression & characteristics of presbycusis in various stages of life; with a contribution to the pathogenesis of presbycusis. *Z Laryngol Rhinol Otol*, 38, 72-88.
- Johansson, M.S.K., Arlinger, S.D. 2002. Hearing threshold levels for an otologically unscreened, non-occupationally noise-exposed population in Sweden. *Int J Audiol*, 41, 180-94.
- Kell, R.L., Pearson, J.C.G., Taylor, W. 1970. Hearing thresholds of an island population in north Scotland. *Int Audiol*, 9, 334-349.
- Knight, K.R., Kraemer, D.F., Winter, C., Neuwelt, E.A. 2007. Early changes in auditory function as a result of platinum chemotherapy: use of extended high-frequency audiometry and evoked distortion product otoacoustic emissions. *J Clin Oncol*, 25, 1190-5.
- Koybasi, S., Atasoy, H.İ., Bicer, Y.O., Tug, E. 2012. Cochlear involvement in Familial Mediterranean Fever: a new feature of an old disease. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 76,244-7.
- Lasso de la Vega Zamora, M. 2012. *Prevalencia y factores de riesgo asociados a la hipoacusia neurosensorial de altas frecuencias en la Artritis Reumatoide y en el Lupus Eritematoso Sistémico.* Tesis doctoral. Madrid. Departamento de Otorrinolaringología. Facultad de Medicina. Universidad Complutense.
- Lawton, B.W. 1998. Typical Hearing Thresholds: a Baseline for the Assessment of Noise-Induced Hearing Loss. University of Southampton. Institute of Sound and Vibration Research. Human Sciences Group. ISVR Technical Report No. 272.
- Lee, F.S., Matthews, L.J., Dubno, J.R., Mills, J.H. 2005. Longitudinal study of pure-tone thresholds in older persons. *Ear Hear*, 26, 1-11.
- Lee, J., Dhar, S., Abel, R., Banakis, R., Grolley, E., et al. 2012. Behavioral hearing thresholds between 0.125 and 20 kHz using depth-compensated ear simulator calibration. *Ear Hear*, 3, 315-29.
- Le Prell, C.G., Spankovich, C., Lobariñas, E., Griffiths, S.K. 2013. Extended high-frequency thresholds in college students: effects of music player use and other recreational noise. *J Am Acad Audiol*, 24, 725-39.
- Löhle E., Holm, M.; Lenhardt, E. 1999. Preconditions of language development in deaf children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 47, 171-5.
- Lutman, M.E., Davis, A.C. 1994. The distribution of hearing threshold levels in the general population aged 18-30 years. *Audiology*, 33, 327-50.
- Matthews, L.J., Lee, F.S., Mills, J.H., Dubno, J.R. 1997. Extended high-frequency thresholds in older adults. *J Speech Lang Hear Res*, 40, 208-14.
- Naval, J. 1797. "Capítulo Primero. Dase alguna idea de la utilidad del oído" en *Tratado Físico-Médico Quirúrgico de las Enfermedades de los Oídos.* Madrid. Imprenta Real.
- Nabelek AK, Robinson PK. 1982. Monoaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. *J Acoust Soc Am*, 71, 1242-8.
- Osterhammel, D., Osterhammel, P. 1979. High-frequency audiometry. Age and sex variations. *Scand Audiol*, 8, 73-81.
- Pearson, J.D., Morrell, C.H., Gordon-Salant, S., Brant, L.J., Metter, E.J., et al. 1995. Gender differences in a longitudinal study of age-associated hearing loss. *J Acoust Soc Am*, 97, 1196-205.
- Plomp R. 1978. Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J Acoust Soc Am*, 63, 533-49.
- Rahko, T., Karma, P. 1990. Low- and high-frequency hearing in patients with Menière's disease. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 247, 329-32.
- Ress, B.D., Sridhar, K.S., Balkany, T.J., Waxman, G.M., Stagner, B.B., et al. 1999. Effects of cisplatinum chemotherapy on otoacoustic emissions: The development of an objective screening protocol. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 121, 693-701.
- Reuter, W., Schonfeld, U., Mansmann, U., Fischer, R., Gross, M. 1998. Extended high frequency audiometry in pre-school children. *Audiology*, 37, 285-94.
- Richter, U. 2003. Equivalent threshold sound pressure levels of the inserted earphones Etymotic Research ER-2A and ER-4A in the extended high-frequency range. In: Richter, U. (ed.). *Characteristics data of different kinds of earphones used in the extended high frequency range for pure-tone audiometry.* Braunschweig. PTB report PTB-MA-72.
- Richter, U. 2003. Equivalent threshold sound pressure levels of the supra-aural earphone KOSS HV/1A in the extended high-frequency range. In: Richter, U. (ed.). *Characteristics data of different kinds of earphones used in the extended high frequency range for pure-tone audiometry.* Braunschweig. PTB report PTB-MA-72.
- Robinson, D.W., Dadson, R.S. 1956. A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. *Br J Appl Phys*, 7, 166.

- Robinson, D.W., Sutton, G. J. 1978. A comparative analysis of data on the relation of pure tone audiometric thresholds to age. NPL Acoustic report Ac84.
- Robinson, D.W., Sutton, G.J. 1979. Age effect in hearing - a comparative analysis of published threshold data. *Audiology*, 18, 320-34.
- Roche, A.F., Siervogel, R.M., Himes, J.H., Johnson, D.L. 1976. Longitudinal study of human hearing: its relationship to noise and other factors. AMRL-TR-76-110.
- Rodríguez Valiente, A., Pérez Sanz, C., Górriz, C., Juárez, A., Monfort, M., *et al.* 2009. Designing a new tool for hearing exploration. *Acta Otorrinolaringol Esp*, 60, 43-8.
- Rodríguez Valiente, A., Trinidad, A., García Berrocal, J.R., Górriz, C., Ramírez Camacho, R. 2014a. Extended high-frequency (9-20 kHz) audiometry reference thresholds in 645 healthy subjects. *Int J Audiol*, 53, 531-45.
- Rodríguez Valiente, A., García Berrocal, J.R., Roldán Fidalgo, A., Trinidad, A., Ramírez Camacho, R. 2014b. Earphones in extended high-frequency audiometry and ISO 389-5. *Int J Audiol*, 53, 595-603.
- Rodríguez Valiente, A., Roldán Fidalgo, A., García Berrocal, J.R., Ramírez Camacho, R. 2015a. Hearing Threshold Levels for an Otologically Screened Population in Spain. *Int J Audiol*, 2, 1-8.
- Rodríguez Valiente, A., Roldán Fidalgo, A., Villarreal, I.M., García Berrocal, J.R. 2015b. Audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 - 20.000 Hz). Utilidad en el diagnóstico audiológico. Extended-high frequency audiometry (9.000 - 20.000 Hz.). Utility in audiological diagnosis. *Acta Otorrinolaringol Esp*, En prensa.
- Rosen, S., Bergman, M., Plester, D., El-Mofty, A., Satti, M.H. 1962. Presbycusis study of a relatively noise-free population in the Sudan. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 71, 727-43.
- Rosen, S., Plester, D., El-Mofty, A., Rosen, H.V. 1964. High frequency audiometry in presbycusis. *Arch Otolaryngol*, 79, 18-32.
- Rosenhall, U., Pedersen, K., Svanborg, A. 1990. Presbycusis and noise-induced hearing loss. *Ear Hear*, 11, 257-63.
- Roth, T.N., Hanebuth, D., Probst, R. 2011. Prevalence of age-related hearing loss in Europe: a review. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 268, 1101-7.
- Ruben R.J. 2000. Redefining survival of the fittest: communication disorders in the 21th century. *Laryngoscope*, 110, 241-5.
- Ruiz González, M. 2002. *Aplicación de las nuevas tecnologías en audiómetros de tonos puros de altas prestaciones*. Tesis doctoral. Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad Politécnica.
- Sakamoto, M., Sugawara, M., Kaga, K., Kamio, T. 1998. Average thresholds in the 8 to 20 kHz range in young adults. *Scand Audiol*, 27, 169-72.
- Sakamoto, M., Sugawara, M., Kaga, K., Kamio, T. 1998. Average thresholds in the 8 to 20 kHz range as a function of age. *Scand Audiol*, 27, 189-92.
- Sastre i Riba, S. 2008. *Desarrollo y Audición*. Boletín de AELFA, 1. Barcelona, Ars Médica. P. 14-17.
- Schechter, M.A., Fausti, S.A., Rappaport, B.Z., Frey, R.H. 1986. Age categorization of high-frequency auditory threshold data. *J Acoust Soc Am*, 79, 767-71.
- Schmuziger, N., Patscheke, J., Probst, R. 2007. An assessment of threshold shift in nonprofessional pop/rock musicians using conventional and extended high-frequency audiometry. *Ear Hear*, 28, 643-8.
- Schönfeld, U., Reuter, W., Fischer, R., Gross, M. 2003. "Hearing thresholds of otologically normal subjects in the extended high-frequency range using the earphone HDA 200" en Richter, U. (ed.). *Characteristics data of different kinds of earphones used in the extended high frequency range for pure-tone audiometry*. Braunschweig. PTB report PTB-MA-72.
- Schrijver, I. 2004. Hereditary non-syndromic sensorineural hearing loss: transforming silence to sound. *J Mol Diagn*, 6, 275-84.
- Shaw, G.M., Jardine, C.A., Fridjhon, P. 1996. A pilot investigation of high frequency audiometry in obscure auditory dysfunction (OAD) patients. *Br J Audiol*, 30, 233-37.
- Somma, G., Pietroiusti, A., Magrini, A., Coppeta, L., Ancona, C., *et al.* 2008. Extended high-frequency audiometry and noise induced hearing loss in cement workers. *Am J Ind Med*, 51, 452-62.
- Spoor, A. 1967. Presbycusis values in relation to noise induced hearing loss. *Int Audiol*, 6, 48-57.
- Stark, P., Hickson, L. 2004. Outcomes of hearing aid fitting for older people with hearing impairment and their significant others. *Int J Audiol*, 43, 390-8.
- Stelmachowicz, P.G., Beauchaine, K.A., Kalberer, A., Jesteadt, W. 1989. Normative thresholds in the 8-to 20-kHz range as a function of age. *J Acoust Soc Am*, 86, 1384-91.
- Stenklev, N.C., Laukli, E. 2004. Presbycusis-hearing thresholds and the ISO 7029. *Int J Audiol*, 43, 295-306.
- Stevens, G., Flaxman, S., Brunskill, E., Mascarenhas, M., Mathers, C., *et al.* 2013. Global and regional

BIBLIOGRAFÍA

- hearing impairment prevalence: An analysis of 42 studies in 29 countries. *Eur J Public Health*, 23, 146-52.
- Takeshima, H., Hiraoka, T., Kumagai, M., Sone, T., Suzuki, Y. 1995. *Reference equivalent threshold sound pressure levels for new earphones*. En: Proceedings of 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, P. 297-300.
- Taylor, W., Pearson, J., Nair, A. 1967. Hearing thresholds of a non-noise-exposed population in Dundee. *Br J Ind Med*, 24, 114-22.
- Trees, D.E., Turner, C.W. 1986. Spread of masking in normal subjects and in subjects with high frequency hearing loss. *Audiology*, 25, 70-83.
- Tyler, R.S., Wood, E.J., Fernandes, M. 1982. Frequency resolution and hearing loss. *Br J Audiol*, 16, 45-63.
- Wiley, T.L., Cruickshanks, K.J., Nondahl, D.M., Tweed, T.S., Klein, R. 1998. Aging and high-frequency hearing sensitivity. *J Speech Lang Hear Res*, 41, 1061-72.
- World Health Organization. *Prevention of blindness and deafness – grades of impairment*. Disponible en: www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/index.html.
- World Health Organization. 1991. Report of the Informal Working Group on Prevention of Deafness and Hearing Impairment Programme Planning. Geneva, Switzerland.
- World Health Organization. 2000a. Future Programme Developments for Prevention of Deafness and Hearing Impairment. Report of the 4th Informal Consultation. Geneva, Switzerland.
- World Health Organization. 2000b. Prevention of Blindness and Deafness. Informal Consultation on the Economic Analysis of Sensory Disabilities, Geneva, Switzerland.
- World Health Organization. 2006. Primary ear and hearing care training resource. 4 v. Advanced level. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Geneva, Switzerland.
- Wright, C.G., Schaefer, S.D. 1982. Inner ear histopathology in patients treated with cisplatin. *Laryngoscope*, 92, 1408-13.

APÉNDICE

	Página
ANEXO 1. Rodríguez Valiente, A., Pérez Sanz, C., Górriz, C., Juárez, A., Monfort, M., García Berrocal, J.R., Gil Fernández, J., Ramírez Camacho, R. 2009. Diseño de una nueva herramienta para la exploración auditiva. <i>Acta Otorrinolaringol Esp</i> , 60, 43–8.	57
ANEXO 2. Rodríguez Valiente, A., Roldán Fidalgo, A., Villarreal, I.M., García Berrocal, J.R. 2015. Audiometría con extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz). Utilidad en el diagnóstico audiológico. <i>Acta Otorrinolaringol Esp</i> , En prensa.	65
ANEXO 3. Modelo de gráfico para audiometría que incluye frecuencias convencionales (125 – 8.000 Hz) y extensión en altas frecuencias (9.000 – 20.000 Hz).	73
ANEXO 4. Umbrales de audición para la población española para la totalidad del espectro auditivo humano (125 – 20.000 Hz), en grupos de 5 años.	77
ANEXO 5. Rodríguez Valiente, A., Roldán Fidalgo, A., García Berrocal, J.R., Ramírez Camacho, R. 2015. Hearing Threshold Levels for an Otologically Screened Population in Spain. <i>Int J Audiol</i> , 2,1-8.	99
ANEXO 6. Rodríguez Valiente, A., Trinidad, A., García Berrocal, J.R., Górriz, C., Ramírez Camacho, R. 2014. Extended high-frequency (9-20 kHz) audiometry reference thresholds in 645 healthy subjects. <i>Int J Audiol</i> , 53, 531-45.	109
ANEXO 7. Rodríguez Valiente, A., García Berrocal, J.R., Roldán Fidalgo, A., Trinidad, A., Ramírez Camacho, R. 2014. Earphones in extended high-frequency audiometry and ISO 389-5. <i>Int J Audiol</i> , 53, 595-603.	127

