

AYUDA EN ENTORNOS RUIDOSOS PARA PERSONAS CON PÉRDIDA AUDITIVA

Orlando Daniel Costa Faria^{1*}

¹ Sonova Ibérica, San Vicente del Raspeig, España

RESUMEN

Las personas con pérdida auditiva tienen particular dificultad para desenvolverse en entornos ruidosos, especialmente cuando necesitan comunicarse con una o varias personas. Las soluciones auditivas modernas ofrecen estrategias de tratamiento del sonido que mejoran la SNR para mejorar la inteligibilidad en entornos complejos. Además, el uso de micrófonos remotos permite apoyar a los usuarios de soluciones auditivas en situaciones específicas para cubrir necesidades determinadas. El sector del cuidado auditivo lleva décadas afrontando el problema de la inteligibilidad en ruido. ¿En qué punto nos encontramos?

ABSTRACT

People who have hearing loss cannot work out in noisy environments, especially when they need to communicate with one or more people. Modern hearing solutions give us sound treatment strategies which improve the SNR, so they improve the voice intelligibly in high environments. Moreover, the use of remote microphones helps the hearing solutions users to improve specific needs. The health care hearing sector has having the issue of the intelligibility in noise situations from decades. In which point are we?

Palabras Clave— Hipoacusia, SNR, comprensión verbal, estrategias de tratamiento de sonido, accesorios.

Key Words— Hearing Loss, SNR, speech understanding, sound processing strategies, accessories.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas con pérdida auditiva (hipoacusia) tienen dificultades para oír sonidos y para la comprensión verbal. El

gran reto para la comprensión verbal de las personas con hipoacusia es el ruido, incluso siendo usuarias de dispositivos auditivos con la última tecnología. Es más, la hipoacusia no solo afecta la comprensión verbal, sino que también puede reducir la sensación de conexión social y el bienestar [1].

De hecho, el impacto socioemocional de la pérdida auditiva se confirmó a través de una revisión reciente, en la que se analizaron 78 artículos y datos notificados por más de 20 000 participantes. Los resultados mostraron que las personas con hipoacusia informaron de consecuencias sociales de su pérdida auditiva, como retraimiento y aislamiento social. Los interlocutores también estaban preocupados sobre las posibilidades de que sus acompañantes, con pérdida auditiva, no participaran durante las salidas, se sintieran aislados en eventos sociales a los que asistieran en pareja y que disfrutaran menos que antes de las situaciones sociales [2].

En una reciente encuesta de investigación de mercado tanto las personas que tenían audífonos, como las que no los tenían, indicaron que los factores de comprensión verbal más importantes eran [2]:

1. Conversación entre dos personas en entornos ruidosos.
2. Conversación grupal en entornos ruidosos.
3. Palabra suave en silencio.
4. Habla sin indicadores visuales.
5. Audición del habla a distancia.

Los fabricantes de audífonos e implantes cocleares pueden ayudar en estos casos desarrollando herramientas de estrategia de tratamiento de sonido como, por ejemplo, reductores de ruido, direccionalidades, accesorios, etc. para que estas personas puedan tener la mejor comunicación posible en su día a día. Para ello, estas herramientas deben mejorar la relación señal ruido, termino conocido como *Signal to Noise Ratio* (SNR). Cuanto mayor es la SNR, mayor es la ayuda para la comprensión verbal en entornos ruidosos.

* **Autor de contacto:** odcfaria@hotmail.com

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

2. OÍDO E HIPOACUSIA

El oído, tal como es conocido del punto de vista anatómico, incluye tres estructuras: oído externo, oído medio y oído interno. Las tres interactúan con funciones diferentes pero complementarias en el fenómeno de la audición. Tenemos desde mecanismos de transmisión a transformación eléctrica.

2.1. Anatomía y fisiología del oído

El oído externo es constituido por el pabellón auditivo y el canal auditivo externo (CAE). El pabellón auditivo permite distinguir de donde proviene un sonido, hace que se amplifiquen determinadas frecuencias (5000 Hz y 6000 Hz) con incrementos inferiores a 10 dB y conduce el sonido hasta el CAE. El CAE transmite el sonido hacia el tímpano generando un efecto de resonancia de las frecuencias de 2000 Hz a 4000 Hz con incrementos de hasta 20 dB. Además, protege el tímpano y el oído medio gracias a su forma sinusoide, la presencia de folículos y la secreción de cerumen. [3].

El oído medio es constituido por la trompa de Eustaquio, la caja timpánica que incluye la cadena de huesecillos y la cavidad mastoidea. El oído medio tiene las siguientes funcionalidades:

- Amplificar el sonido, el cual ronda los 28 dB, siendo la resonancia del complejo tímpano-osicular sobre los 800 Hz.
- Compensación de un medio gaseoso a uno líquido, garantizando que las características de las ondas sonoras que llegan a la membrana timpánica sean amplificadas y transmitidas al medio líquido del oído interno.
- Proteger el oído interno en aquellos sonidos de 70 dB o superiores al umbral auditivo.
- Ofrecer una función respiratoria crucial para la maximización de la función auditiva. De este modo, para que el tímpano y los huesecillos puedan vibrar en condiciones óptimas, es necesario que la presión en el oído medio sea igual o aproximada a la presión atmosférica. [4].

El oído interno es constituido por el laberinto óseo (vestíbulo óseo, cóclea y canales semicirculares) y laberinto membranoso (ductos semicirculares, vestíbulo membranoso y ducto coclear) [4]. La cóclea es el órgano receptor de los estímulos mecánicos percibidos y ampliados por el oído medio, la distribución tonotópica del sonido a lo largo de las dos vueltas y media de la cóclea constituye un primer filtro para la entrada del sonido y su distribución a las vías auditivas [3]. La mecánica coclear se inicia por la entrada de la onda sonora desde la ventana oval y hace vibrar el líquido endolinfático [3]. La estimulación de las células ciliadas a lo largo del canal coclear no se produce de forma aleatoria, sino que corresponde a una estimulación tonotópica en función de la frecuencia del sonido. Así, los tonos más agudos estimulan la región más basal y los tonos más graves en región apical. Esto explica por qué los traumatismos acústicos tienen

especial repercusión en los tonos agudos, ya que su zona de recepción está más próxima de la fuente sonora. [3].

2.2. Hipoacusia

Cualquier problema encontrado en las 3 estructuras del oído provocará una hipoacusia y podemos dividirlas en tres tipos: hipoacusia de transmisión o conducción, hipoacusia de percepción o neurosensorial e hipoacusia mixta. Estas pueden tener varios grados y diferentes dificultades.

La hipoacusia de transmisión se debe a una disminución en la transmisión por vía aérea del sonido, causada por una patología del oído externo y/o medio. Una de las maneras de identificarlo podría ser cuando se realiza un estudio por vía ósea y sus respuestas están dentro de los valores normales, ya que el oído interno y vía auditiva central se encuentran intactos [5].

La hipoacusia neurosensorial se debe a una alteración en la percepción del mensaje sonoro, dependiendo de que la lesión se localice en la cóclea (falla de transducción) o en la vía auditiva (falla de transmisión del impulso nervioso), se diferencian en hipoacusia de percepción de origen coclear y de origen retrococlear [5]. En la audiometría tonal la audición por vía aérea y ósea están afectadas, lo que dará curvas paralelas con una diferencia menor o igual a 10 dB [5].

La hipoacusia mixta es debida a alteraciones en la transmisión y en la percepción del sonido en el mismo oído [5]. En la audiometría tonal los umbrales de vía aérea y vía ósea superan los 20 dB, existiendo entre ellos una diferencia de 10 dB [5].

Clasificamos la hipoacusia por grados para indicar la cantidad de pérdida auditiva que muestra la audiometría de tonos puros.

Tabla 1. La siguiente tabla muestra una forma habitual de clasificar la hipoacusia [6].

Grado de hipoacusia	Rango de hipoacusia (dB HL)
Normal	-10 a 15
Ligera	16 a 25
Leve	26 a 40
Moderada	41 a 55
Moderadamente severa	56 a 70
Severa	71 a 90
Profunda	91+

3. RELACIÓN SEÑAL RUIDO (SNR)

Muchos ruidos de fondo de la vida real fluctúan rápidamente y las personas con audición normal extraen fragmentos útiles de información durante los momentos más débiles del ruido de fondo, lo que se conoce como escuchar en los huecos. Las

personas con hipoacusia pierden parcialmente esta capacidad de oír durante los huecos de un ruido de fondo, sobre todo si son mayores. La capacidad de oír sonidos débiles durante los breves intervalos de un enmascarador más intenso disminuye gradualmente a medida que empeora la hipoacusia. Las personas con deficiencias auditivas necesitan invariablemente una SNR más alta para comprender el habla. [7].

Las personas con hipoacusia de origen coclear tienen más dificultades en entender el habla en un entorno ruidoso que las personas con audición normal o con hipoacusia conductiva o mixta. Plomp (1994) describió una serie de pesquisas que medían los umbrales de reconocimiento del habla para frases en entornos ruidosos. Los resultados fueron presentados en SNR necesaria para conseguir 50% de comprensión del material verbal. Invariablemente, las personas con hipoacusias cocleares necesitaban un aumento de señal en relación al ruido para la comprensión. El aumento necesario varió de 2,5 dB para hipoacusias leves a 7 dB para hipoacusias de moderadas a severas. Un aumento aún más grande en la SNR fue cuando el ruido fluctuaba. El aumento necesario del habla para obtener umbrales, en este tipo de ruido competitivo, puede variar de 9 a 25 dB. [8].

La Figura 1 muestra las medias y las desviaciones estándar de la prueba adaptativa de Palabras en Ruido (WIN; Wilson 2003) del conjunto de datos de Wilson (2011). En este procedimiento se obtiene el nivel SNR para lograr un 50% de aciertos. Esta medida se representa en función del grado de hipoacusia propuesto por la Organización Mundial de Salud (OMS). A medida que aumentaba la gravedad de la discapacidad auditiva, se necesitaba una SNR cada vez mayor para alcanzar una precisión de reconocimiento del 50%. [9].

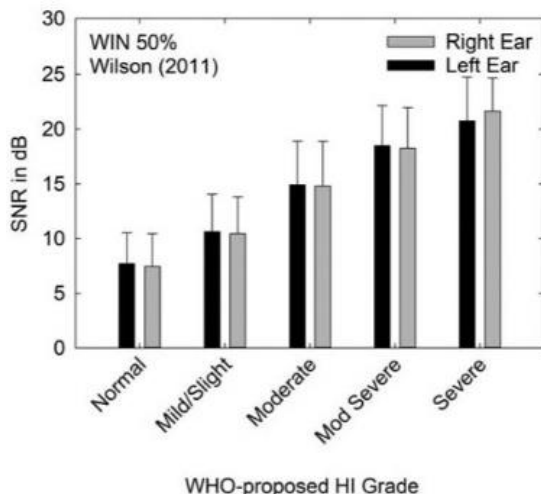


Figura 1. Media y desviaciones estándar para la prueba WIN con habla competitiva en función del grado de hipoacusia propuesto por la OMS para ese mismo oído. Se muestran por separado en color negro los datos de los oídos izquierdos y en color gris los derechos [9].

4. ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DE SONIDO

La investigación del mercado muestra que la mejora de la comprensión verbal es una de las necesidades más importantes que manifiestan los usuarios de audífonos [2].

Las soluciones auditivas modernas ofrecen diversas estrategias de tratamiento de sonido para mejorar la SNR de las personas con pérdida auditiva.

Han pasado por varias eras y la verdadera revolución llegó cuando la propia forma de onda sonora se convirtió en una serie de números y se manipuló mediante circuitos digitales, la era digital. La investigación sobre el procesamiento digital comenzó en la década de 1960 en los Laboratorios Bell. Sin embargo, debido a la velocidad de los ordenadores, los cálculos necesarios no podían realizarse con la suficiente rapidez para que la señal saliera del audífono con la misma rapidez con la que se introducía la señal. No fue hasta finales de los años setenta que los ordenadores fueron lo bastante rápidos para que la salida siguiera el ritmo de la entrada y hasta la década de 1980, donde el consumo de energía y el tamaño fue disminuido lo suficiente como para fabricar un audífono que se pudiera llevar. En 1986 estos circuitos de control digital y memoria sustituyeron a los potenciómetros y como ocupaban poco espacio dentro del audífono, se podían incluir muchos "controles" en un audífono. De este modo, los circuitos permitían ajustar características de amplificación de los audífonos con mayor flexibilidad y precisión. Como el primer audífono era corporal y hacía esencialmente al sonido lo mismo que los audífonos analógicos, no fue un éxito comercial y dejó de comercializarse rápidamente. Finalmente, en 1996, los audífonos totalmente digitales estuvieron disponibles comercialmente. [7].

Las ventajas que ya se observan para la tecnología digital incluyen [7]:

- Aumentos adicionales en la flexibilidad y precisión con las que se pueden controlar la configuración de la respuesta y las características de compresión.
- Manipulación automática inteligente de la ganancia y la respuesta en frecuencia del audífono dependiendo de la cantidad de señal y ruido que el audífono estima que llega en cada región de frecuencia.
- Manipulación inteligente de la forma en la que varía la ganancia para los sonidos procedentes de diferentes direcciones (es decir direccionalidad), de modo que se minimice el ruido.
- Aumento de ganancia sin que se produzcan oscilaciones de retroalimentación.
- Reducción del tamaño y de la energía requerida de la batería, en relación con una ayuda analógica que manipula sonido de la misma manera.
- Disminución de la frecuencia de los sonidos de alta frecuencia que transportan información crucial del habla, con el objetivo de que se puedan percibir en una gama de frecuencias en la que el usuario tiene una mejor audición.

- Audífonos que aprenden y luego aplican automáticamente las preferencias de amplificación del usuario en distintos entornos.

La era inalámbrica también llegó a los audífonos e hizo posible la transmisión de señales sin la degradación causada por el ruido y la reverberación que inevitablemente acompañan a la propagación de ondas sonoras. Aunque los audífonos se han podido conectar mediante cable a receptores inalámbricos durante muchos años, cada vez más receptores inalámbricos se integran o encajan en audífonos. [7].

Hay cuatro aplicaciones amplias [7]:

- Recepción remota: para recibir señales enviadas a través de una habitación desde un micrófono y un transmisor que porta el interlocutor.
- Control coordinado de audífonos bilaterales: para ajustar manual o automáticamente la amplificación en los audífonos izquierdo y derecho de manera sincronizada.
- Conectividad a dispositivos de comunicación: para recibir señales de audio desde dispositivos como teléfonos móviles, ordenadores, reproductores de audio personales o sistemas de navegación por satélite.
- Audífonos de matriz binaural: para proporcionar una conexión de audio completa de los audífonos izquierdo y derecho, permitiendo así una audición superdireccional que mejora la inteligibilidad del habla en lugares ruidosos.

La primera y la última de estas opciones permiten un aumento de la inteligibilidad en el ruido que supera con creces cualquier cosa que se pueda lograr sin transmisión inalámbrica. Además, ofrecen la posibilidad de que en lugares ruidosos, las personas con hipoacusia oigan incluso mejor que las personas con audición normal. Si es así, los audífonos ya no indicarán que el usuario tiene una discapacidad, sino que indicarán que el usuario tiene una súper audición. Esto debería aumentar drásticamente tanto el uso de audífonos por parte de las personas con hipoacusia como el beneficio y la satisfacción experimentados por quienes los usan [7].

4.1. Direccionalidad

El beneficio proporcionado por un micrófono direccional depende de la direccionalidad del audífono, las características de reverberación de la situación auditiva, la distancia del interlocutor y las fuentes de ruido. En absoluto depende del material de habla utilizado para evaluar el beneficio. La SNR en el entorno puede afectar el grado de beneficio que ofrecen los micrófonos direccionales adaptativos, pero no el que ofrecen los conjuntos fijos. Definamos el beneficio de un micrófono direccional como la cantidad en la que se debe aumentar el ruido cuando el micrófono direccional reemplaza a un micrófono omnidireccional para que la inteligibilidad. [7].

El fabricante de audífonos Phonak lanzó en 2010 UltraZoom (UZ), un formador de haces adaptativo monoaural multibanda que ayuda a mejorar la SNR. Este se diseñó para

ayudar a los usuarios a comprender el habla que proviene desde delante en entornos ruidosos. Es un haz lo suficientemente amplio como para permitir una percepción general de los sonidos (conciencia del entorno), sin embargo a medida que el sonido se torna más intenso y más difuso, el haz más amplio capta tanto el ruido como el habla y es posible que un sistema monoaural como este no pueda separar la fuente del ruido de la señal verbal objetivo. [2].

En 2012 Phonak presentó StereoZoom (SZ), es un sistema binaural de formación de haces que combina las señales de cuatro micrófonos, situados dos a la izquierda y dos a la derecha, a través de una conexión inalámbrica. Esto permite crear un patrón de forma de haces estrecho diseñado para ofrecer una mejor SNR. Con un nivel de ruido definido, que se usa como nivel de activación, los micrófonos de ambos audífonos funcionan juntos para enfocarse en los sonidos que provienen directamente desde delante, al tiempo que minimizan el ruido simultáneo desde todas las direcciones. Por lo tanto, el oyente puede concentrarse en la conversación. Varios estudios han demostrado una mejor inteligibilidad verbal con SZ en comparación con otras tecnologías de formación de haces en dispositivos de Phonak y dispositivos de la competencia. Schulte et al., (2018) observaron un aumento considerable en el nivel de interacción social al usar SZ. [2].

En 2022 Phonak lanzó StereoZoom 2.0, que es una combinación de UZ y SZ cuyo objetivo es mantener más conciencia espacial con niveles más bajos de activación (ruido), o concentración en el habla (mayor enfoque cuando aumenta el ruido), según el entorno auditivo (Fig. 2) [2].

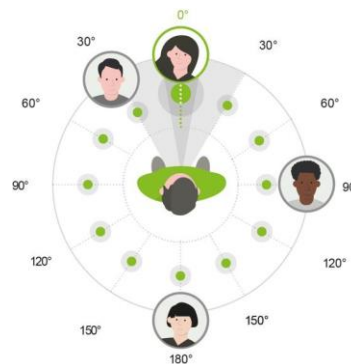


Figura 2. StereoZoom 2.0 [2].

Además, de ser automático si el usuario desea controlar el nivel de foco en función de a quién desea escuchar en entornos difíciles puede hacerlo de forma manual y en tiempo real desde la aplicación myPhonak.

De hecho, se ha demostrado mediante mediciones técnicas que SZ 2.0 proporciona una relación SNR 3,0 dB mejor en comparación con Real Ear Sound que es otra direccionalidad de Phonak que simula el efecto “pinna” para restaurar el patrón de directividad natural del oído externo. Al

tener la capacidad de aumentar la intensidad del foco comparado SZ proporciona 2,5 dB adicionales de SNR. [2].

4.2. Reducción de ruido adaptativo

El ruido se puede reducir de tal manera que mejore la comodidad auditiva y reduzca el esfuerzo auditivo y existen varias técnicas para lograrlo. Las técnicas de reducción de ruido adaptativa tienen varios sinónimos, incluida la supresión de ruido, la cancelación de ruido a escala fina, la reducción de ruido con un solo micrófono y la reducción de ruido digital. [7].

En la figura 3 podemos ver los varios reductores de ruido disponibles actualmente en un audífono de gama Premium de Phonak:

- Cancelador de Ruido Dinámico (CRD): funciona en conjunto con la direccionalidad del micrófono (UZ y SZ 2.0) para reducir el ruido de los lados y de atrás y mejorar el habla desde el frente, pudiendo mejorar la SNR hasta 4 dB.

Un estudio realizado por Hörzentrum Oldenburg en 2020 reveló que el CRD reduce el esfuerzo auditivo comparado con un reductor de ruido anterior (SNR-Boost), como se puede ver en la figura 4 [10].

- SoundRelax: reduce los ruidos fuertes y repentinos como, por ejemplo, el golpear de una puerta o ruido de platos.

- NoiseBlock: reductor de ruido ambiental que funciona por canales, donde se detecta una SNR negativa baja la ganancia en ese canal.

- Reducción de Ruido Suave: ajusta los sonidos de entrada muy suaves como, por ejemplo, el ruido de los ventiladores o los aires acondicionados.

- Windblock: reductor del ruido de viento.

- Whistleblock: cancela la realimentación transitoria creada en el mundo real como, por ejemplo, al usar un sombrero o dar un abrazo.

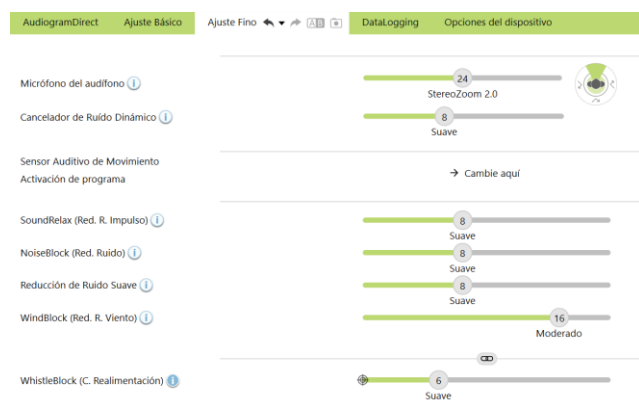


Figura 3. Imagen del software de adaptación Phonak Target de una programación simulada con audífonos de tecnología Premium.

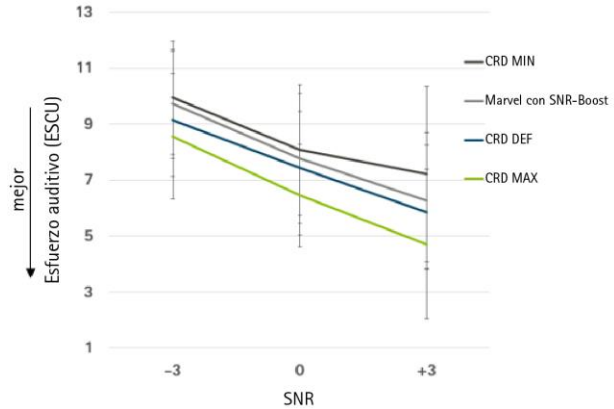


Figura 4. Calificación ACALES del esfuerzo auditivo para CRD en los ajustes apagado, DEF y MAX, para Audéo M90-R con SNR-Boost activado. ESCU = Unidad Categórica de Escalado del Esfuerzo, proveniente del concepto inglés *Effort Scaling Categorical Unit*. 1 = sin esfuerzo, 13 = cantidad extrema de esfuerzo [10].

5. MICRÓFONOS REMOTOS

El propósito de un micrófono inalámbrico remoto es captar una señal de interés y enviarla de forma inalámbrica a un receptor que está conectado a un altavoz (configuración de campo sonoro) o al audífono (configuración personal). Esto envía una señal clara y de alto nivel que está menos contaminada por la reverberación y/o el ruido de fondo que la señal recibida en el micrófono del audífono. Al enviar esta señal más limpia al audífono, podemos superar muchos de los efectos nocivos de la distancia, la reverberación y el ruido que a menudo ocurre en los entornos de comunicación cotidianos. En el uso doméstico, se pueden usar estos sistemas para permitir un acceso claro a la voz del cuidador, en el coche, en patios de recreo, en centros comerciales u otras situaciones donde la distancia, el ruido y la reverberación pueden inhibir la comunicación efectiva. [11].

En un estudio realizado por Thibodeau en 2020 sobre los beneficios en el reconocimiento de voz en ruido con micrófonos inalámbricos remotos en entornos grupales, se ha demostrado que el micrófono Roger Select (Phonak) puede proporcionar beneficios significativos en el reconocimiento de voz en ruido en comparación con el uso de audífonos/implantes cocleares solos (61 %) [12].

La tecnología de los micrófonos Roger no se basa solo en captar y enviar la voz de los interlocutores, también analiza el entorno para tener un comportamiento de micrófono adaptativo digital. Lo puede hacer de dos formas:

- Adaptativo estándar, a medida que aumenta el ruido aumenta la señal Roger hasta +20 dB.

- Adaptativo dual, cuando el ruido aumenta, aumenta la señal Roger hasta +10 dB y si el ruido sigue aumentando, atenúa el micrófono del audífono hasta -10 dB).

Se puede seleccionar una u otra opción desde el software de adaptación Phonak Target. Esto permitirá escuchar aún mejor en situaciones de ruido.

En entornos educativos, es posible configurar estos sistemas no solo para admitir un acceso claro a la voz de un profesor sino también puede permitir múltiples interlocutores e interfaz con equipos como ordenadores y sistemas de proyección en la [11].

Para la acústica de las aulas no ocupadas, American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) recomienda que los niveles de ruido no superen los 35 dB(A) y que el tiempo de reverberación no supere los 0,6 segundos en las aulas más pequeñas y 0,7s en las más grandes [13].

Se realizó un estudio en 8 escuelas públicas del centro de Ohio. Las mediciones de los tiempos de reverberación y los niveles de ruido de fondo en 32 aulas de primaria desocupadas revelaron que, en promedio, el ruido de fondo tendía a ser entre 5 y 15 dB más alto de lo recomendado. Los niveles de ruido oscilaron entre 34,4 y 65,9 dB(A) y, sólo 4 de 32 aulas, tenían niveles de ruido de fondo inferiores a 35 dB(A). El mismo estudio también reveló que las mediciones del tiempo de reverberación oscilaron entre 0,2 y 1,27 s y, 13 de las 32 aulas, excedieron el tiempo de reverberación máximo de ASHA de 0,6 segundos para salas más pequeñas [14].

Otro estudio realizado en Nueva Escocia, Canadá, investigó los efectos de los sistemas de amplificación de campos sonoros en el rendimiento de los estudiantes en clase. Este estudio reveló que los sistemas de campo sonoro aumentan efectivamente la relación señal-ruido en las aulas y ayudan a los niños a prestar atención, escuchar y comprender mejor al maestro [15].

6. CONCLUSIÓN

De los varios tipos de hipoacusia, la neurosensorial es la que representa mayores dificultades para comprender en entornos ruidosos y, a medida que aumenta el grado de la hipoacusia, mayor debe ser la SNR para que puedan entender mejor.

Las estrategias de tratamiento de sonido son fundamentales para conseguir la mejora de SNR deseada por los usuarios de audífonos. Éstas han evolucionado mucho en estos años. Sin embargo, hemos visto que el apoyo de micrófonos remotos en una adaptación con audífonos puede ayudar aún más a combatir el ruido fuerte, la distancia y la reverberación tanto para adultos como en entornos educativos. Por eso, en la rehabilitación auditiva se debe tener en cuenta todas las necesidades de los pacientes para decidir si es suficiente solo con el uso de audífonos o si también debemos incorporar el uso de micrófonos remotos.

Teniendo en cuenta todos estos datos, podemos comprobar la gran importancia de la tecnología en el día a día de los usuarios de audífonos para tener la mejor audición posible.

7. REFERENCIAS

- [1] Vercammen C., Ferguson, M., Kramer, S., Meis, M., Singh, G., Timmer, B., Gagné, J. P., Goy, H., Hickson, L., Holube, I., Launer, S., Lemke, U., Naylor, G., Picou, E., Scherpiet, S., Weinstein, B. Pelosi, A. (2020). Well-hearing is well-being: A Phonak position statement about why hearing healthcare is vital for healthy living. *The Hearing Review*, 27(3):18-22.
- [2] Woodward, J., Kuehnel, V., et Latzel, M. (2022). *Soluciones innovadoras de comprensión verbal: Lumity con Phonak SmartSpeech™ Technology*. Phonak Insight.
- [3] Salesa, E., Perelló, E., Bonavida, A. (2013). *Tratado de audiolología* (2ª ed.). Elsevier Masson
- [4] Reis, J. (2002). *Surdez diagnostico e reabilitação*. Servier
- [5] Angulo, A., Blanco, J., Mateos, F. (1997). *Audioprótesis: Teoría y práctica*. Masson, S.A.
- [6] American Speech-Language-Hearing Association. *Degree of Hearing Loss*. <https://www.asha.org/public/hearing/degree-of-hearing-loss/>
- [7] Dillon, H. (2012). *Hearing Aids* (2ª ed.). Boomerang Press
- [8] Almeida, K., Lorio, M. (2003). *Próteses Auditivas Fundamentos Teóricos & Aplicações Clínicas* (2ª ed.). Lovise
- [9] Humes, L. (2018). The World Health Organization's hearing-impairment grading system: an evaluation for unaided communication in age-related hearing loss. *National Library of Medicine: National Center for Biotechnology Information*, 58(1), 12–20. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6351193/>
- [10] Appleton-Huber, J. (2020). *AutoSense OST™ 4.0: esfuerzo auditivo significativamente menor y preferido por la inteligibilidad verbal*. Phonak Field Study News.
- [11] Katz, J., Chasin, K., Hood, L., Tillery, K. (2015). *Handbook of Clinical Audiology* (7ª ed.). Wolters Kluwer
- [12] Thibodeau L. M. (2020). Benefits in Speech Recognition in Noise with Remote Wireless Microphones in Group Settings. *Journal of the American Academy of Audiology*, 31(6), 404–411. <https://doi.org/10.3766/jaaa.19060>
- [13] American Speech-Language-Hearing Association. (2005). *Acoustics in educations settings: [Position statement]*. Recuperado de: www.asha.org/policy
- [14] Knecht, H.A., Nelson, P.B., Whitelaw, G.M. & Feth, L.L. (2002). Background noise levels and reverberation times in unoccupied classrooms: Predictions and measurements. *American Journal of Audiology*, 11, 65-71.
- [15] Langlan, L.A., Ravichandran, S., Caissie, R., Kreisman, B.M. (2009). The benefit of soundfield amplification in First Nations elementary school children in Nova Scotia, Canada. *The Australian and New Zealand Journal of Audiology*, 31(2), 55–71.