

## Marzo-Abril 2020 - número 2

- Efectos de la direccionalidad de audífono adaptable y la reducción del ruido en el reconocimiento del habla enmascarada en niños con hipoacusia, por Jenna M. Browning, Emily Buss, Mary Flaherty, Tim Vallier y Lori J. Leibold. - Preguntas sobre la compensación de los oídos, por Abby Malawer.

### **Efectos de la direccionalidad de audífono adaptable y la reducción del ruido en el reconocimiento del habla enmascarada en niños con hipoacusia**

*Jenna M. Browning, Mary Flaherty, Tim Vallier y Lori J. Leibold*

Center for Hearing Research, Boys Town National Research Hospital, Omaha, NE.

*Emily Buss*

Departamento de Otorrinolaringología-cirugía de cabeza y cuello, The University of North Carolina, Chapel Hill.

**Objetivo:** El objetivo de este estudio fue evaluar el reconocimiento del “habla en presencia de ruido” y del “habla en presencia de habla”, asociado con la activación de un algoritmo de audífono direccional totalmente adaptativo en niños con una pérdida auditiva neurosensorial bilateral de leve a severa.

**Método:** En este estudio participaron 14 niños y niñas (con una edad de 5-14 años) con hipoacusia. Los participantes utilizaron audífonos de laboratorio. Los umbrales de reconocimiento de palabras en un contexto abierto se midieron de forma adaptable para 2 ajustes de audífono:(a) omnidireccional (OMNI) y (b) direccionalidad totalmente adaptativa. Cada ajuste de audífono se evaluó en 3 condiciones de escucha. Catorce niños con una audición normal y de la misma edad participaron como controles.

**Resultados:** Los niños con hipoacusia necesitan una relación señal-ruido más ventajosa que los niños con una audición normal para lograr un desempeño comparable en las 3 condiciones. En el caso de los niños con hipoacusia, la mejora media en la relación señal-ruido al comparar el ajuste de direccionalidad totalmente adaptable con el ajuste OMNI fue de 4 dB en presencia de ruido, independientemente de la ubicación objetivo. Los niños mostraron un desempeño similar con los ajustes de direccionalidad totalmente adaptativa y OMNI en presencia de los enmascaradores del habla.

**Conclusión:** En comparación con el ajuste OMNI, el ajuste de direccionalidad totalmente adaptativa mejoró el reconocimiento del habla en presencia de un ruido estacionario en los niños con hipoacusia, incluso cuando no se encontraban delante de la fuente objetivo. Este algoritmo no influyó en el reconocimiento del habla cuando el ruido de fondo era habla. Si bien el uso de audífonos con direccionalidad totalmente adaptable no se propone como sustituto de los sistemas de micrófono remoto, parece ofrecer varias ventajas sobre la direccionalidad fija, porque no depende de que los niños se encuentren delante del hablante objetivo y proporciona un acceso a múltiples hablantes en un entorno determinado. Se requieren experimentos adicionales para evaluar con mayor profundidad el desempeño de los niños en una variedad de configuraciones espaciales en presencia de enmascaradores de ruido y habla.

La acústica en los entornos escolares suele ser infraóptima en cuanto a los tipos de escucha y comunicación que facilitan el aprendizaje de los niños (p. ej., Crukley, Scollie y Parsa, 2011; Klatte, Bergström y Lachmann, 2013). Los niños en edad escolar escuchan el habla en presencia de ruido

## Marzo-Abril 2020 - número 2

competitivo durante un periodo que puede alcanzar el 80% de la jornada escolar (Crukley et al., 2011). Si bien en las directrices relativas a los niveles de ruido en el aula se recomienda una relación señal-ruido (SNR) de al menos 15-30 dB (American National Standards Institute, 2002; American Speech-Language-Hearing Association, 1995), unos valores de SNR de -6 a 6 dB son más habituales (Crandell y Smaldino, 2000a). Este dato es especialmente preocupante en el caso de los niños con hipoacusia, dado que en varios estudios se ha demostrado que estos niños necesitan una SNR más favorable para el reconocimiento del habla que los niños con una audición normal de la misma edad (p. ej., Finitzo-Hieber y Tillman, 1978; Gravel, Fausel, Liskow y Chobot, 1999; Leibold, Hillock-Dunn, Duncan, Roush y Buss, 2013).

Cada vez existe una mayor conciencia sobre el gran número de sonidos competitivos que se encuentran en los entornos infantiles son resultado del habla de otras personas. Los bebés y los niños escuchan a varias personas hablando al mismo tiempo aproximadamente la mitad del día cuando están en casa (p. ej., Barker y Newman, 2004) y la mayoría del tiempo cuando se encuentran fuera de ella (van de Weijer, 1998). En los colegios, algunos sonidos, como el murmullo de voces en el comedor o el ruido que genera un aparato de aire acondicionado, son relativamente estacionarios. Otros sonidos, como el habla de un pequeño número de personas, son más complejos y dinámicos. Esta distinción es importante porque se considera que el enmascaramiento producido por el ruido y el habla refleja procesos auditivos diferentes. El ruido relativamente estacionario genera principalmente un enmascaramiento energético (Fletcher, 1940), limitando la fidelidad con la que la periferia auditiva codifica el habla objetivo. Por el contrario, un pequeño número de hablantes competitivos, como el habla producida por los compañeros de clase, tiende a generar un enmascaramiento energético e informativo (p. ej., Brungart, 2001; Brungart, Simpson, Ericson y Scott, 2001; Carhart, Tillman y Greetis, 1969; Freyman, Balakrishnan y Helfer, 2004). En este contexto, el enmascaramiento informativo refleja limitaciones en la capacidad de convertir formas de onda acústicas en objetos auditivos (p. ej., segregación de fuentes sonoras; Bregman, 1990) y en la capacidad de seleccionar el objeto auditivo apropiado para un procesamiento posterior, al mismo tiempo que se descartan sonidos irrelevantes (p. ej., atención selectiva). Para comprender las capacidades de percepción del habla en el aula de los niños con una audición normal y de los niños con hipoacusia, puede resultar útil una evaluación del desempeño en presencia de ambos tipos de sonidos de fondo competitivos.

Existen varias tecnologías que se pueden utilizar para reducir los efectos negativos del ruido en el aula en el caso de los niños con hipoacusia. Estas tecnologías incluyen: (a) sistemas de micrófono remoto (p. ej., sistemas de frecuencia modulada [FM]), (b) reducción de ruido digital (DNR, por sus siglas en inglés) y (c) tecnología de micrófono direccional. Los sistemas de micrófono remoto mejoran la SNR colocando un micrófono cerca de la señal (a menudo, la voz del profesor) y transmitiendo la entrada del micrófono de forma inalámbrica a un dispositivo (a menudo, un audífono) a través de ondas de radio FM o Bluetooth. La ventaja de SNR puede ser de hasta 20 dB cuando solo se amplifica la señal del micrófono remoto (Hawkins, 1984); sin embargo, la ventaja real depende de la relación de sensibilidad entre la señal inalámbrica y los micrófonos de los audífonos. Se recomienda la activación de micrófonos ambientales en los audífonos del niño para permitir el aprendizaje incidental a través de la escucha incidental, si bien se suele reducir la ventaja de la SNR a 3-5 dB (p. ej., Crandell y Smaldino, 2000b; Fabry, 1994; Hawkins, 1984; Lewis, Crandell, Valente y Horn, 2004). Si bien se recomiendan los sistemas de micrófono remoto para los niños con hipoacusia en el aula, especialmente cuando la principal fuente de interés es la voz del profesor, es posible que no sean prácticos en todos los momentos ni en todos los entornos de escucha. Varios factores limitan la recomendación del uso a tiempo completo de estos sistemas en el aula, como son: (a) la presencia de

## Marzo-Abril 2020 - número 2

múltiples hablantes de interés, (b) las consideraciones estéticas y sociales, y (c) la portabilidad para los niños que se desplazan entre aulas durante la jornada escolar (McCreery, Venediktov, Coleman y Leech, 2012; Ricketts y Galster, 2008).

Una segunda estrategia para reducir los efectos negativos del ruido en el aula es el uso de audífonos con tecnología DNR. La DNR manipula la salida del audífono para reducir el ruido que se detecta en el ambiente. Si bien los algoritmos de la DNR difieren en los detalles, se suelen utilizar algoritmos de detección de modulación y de filtrado complejo para clasificar los sonidos como habla o ruido y, a continuación, reducir la ganancia cuando la entrada al audífono es principalmente ruido. El objetivo de la DNR es mejorar el reconocimiento del habla por parte del oyente; sin embargo, el consenso general de los estudios en adultos es que no tiene ninguna influencia en el reconocimiento del habla (Bentler, 2005). No obstante, en varios estudios se ha notificado una mayor comodidad/facilidad de escucha con la DNR (Boymans y Dreschler, 2000; Mueller, Weber y Hornsby, 2006; Peeters, Kuk, Lau y Keenan, 2009). McCreery et al. (2012) realizaron una revisión sistemática para determinar el efecto de la tecnología DNR en usuarios pediátricos de audífonos. Solo cuatro estudios cumplían los criterios de inclusión (Auriemma et al., 2009; Pittman, 2011a, 2011b; Stelmachowicz et al., 2010), destacando la limitada base de pruebas sobre el uso de la DNR en niños. Los hallazgos de estos cuatro estudios sugieren que la DNR no influye en el reconocimiento del habla de los niños. Los resultados de un estudio posterior realizado por Crukley y Scollie (2014) son congruentes con la idea de que el uso de la DNR no influye significativamente en el reconocimiento de oraciones en presencia de ruido.

Una tercera estrategia que tiene un potencial de mejora de la SNR en el aula es la tecnología de micrófono direccional. En la mayoría de los audífonos contemporáneos que incorporan la tecnología de micrófono direccional se utiliza la colocación de dos micrófonos en cada audífono para manipular el patrón de direccionalidad de la matriz de micrófonos mediante la formación de haces. Mientras que los micrófonos omnidireccionales (OMNI) están diseñados con una sensibilidad similar a los sonidos procedentes de todas las direcciones, los micrófonos direccionales fijos son sensibles a los sonidos que proceden de una dirección en el espacio (en general, directamente delante del oyente) mientras atenúan los sonidos que provienen de otras direcciones. Los audífonos con direccionalidad fija tienden a mejorar la SNR de las señales objetivo, pero la cantidad de beneficio que se proporciona a los usuarios depende de varios factores. Entre estos factores se encuentran: (a) la orientación del micrófono con respecto al objetivo y las señales competitivas, (b) el nivel de ruido ambiental, (c) la reverberación y (d) la distancia entre el hablante y el oyente (Ricketts, Picou y Galster, 2017). En estudios anteriores sobre niños y adultos se ha demostrado que los micrófonos direccionales fijos mejoran la SNR en 2-5 dB en comparación con el procesamiento de los OMNI (Gravel et al., 1999; Hornsby y Ricketts, 2007). En estudios previos se ha evaluado generalmente el beneficio de los micrófonos direccionales utilizando ruido estacionario, como el "ruido en forma de habla" (SSN, por sus siglas en inglés; Leeuw y Dreschler, 1991; Valente, Fabry y Potts, 1995) o el "parloteo" múltiple (Gravel et al., 1999; Hawkins y Yacullo, 1984). Se ha observado poca o ninguna mejora en el reconocimiento del habla entre el OMNI y el micrófono direccional cuando se incorporan condiciones acústicas más realistas en el protocolo de prueba, como la reverberación y varias fuentes de ruido (Amlani, 2001; Bentler, 2005; Hornsby y Ricketts, 2007).

Está bien documentado que los adultos se benefician de una direccionalidad fija en el contexto del reconocimiento del habla en presencia de ruido (p. ej., Amlani, 2001; Bentler, 2005). No resulta

## Marzo-Abril 2020 - número 2

sorprendente considerando que los adultos, por término medio, pasan aproximadamente el 60% del tiempo en presencia de ruido y aproximadamente el 80% del tiempo escuchando una señal objetivo que se encuentra cerca y delante de ellos (Walden, Surr, Cord y Dyrland, 2004). A pesar de la adopción de la tecnología direccional en las adaptaciones de audífonos para adultos, las recomendaciones con respecto a la tecnología de micrófono direccional en pacientes pediátricos son contradictorias (Bagatto, Scollie, Hyde y Seewald, 2010; Crukley y Scollie, 2014; King, 2010). Si bien los niños se pueden beneficiar de una direccionalidad fija, estos beneficios parecen limitarse a las condiciones de escucha cuando la señal está relativamente cerca y delante de ellos, la reverberación es mínima y el ruido se encuentra detrás o alrededor (Gravel et al., 1999; Ricketts, Galster y Tharpe, 2007). Si el niño no se encuentra delante de la fuente de sonido de interés, como su profesor, el modo direccional puede dar lugar a un desempeño menor en presencia de ruido, en comparación con el ajuste OMNI (Ricketts et al., 2007). La direccionalidad fija no responde de una manera diferente si existen varios flujos de habla en el entorno; se supone que el hablante de interés objetivo se encuentra delante del oyente y los hablantes situados detrás se consideran "ruido". Estos supuestos son problemáticos para los niños en un aula, donde la fuente de sonido de interés cambia a menudo de posición con respecto al niño. Además, los entornos de escucha en el aula varían ampliamente en cuanto a la reverberación, la distancia de la señal objetivo y la posición de las diversas fuentes de sonido (Ricketts y Galster, 2008).

La dependencia de la orientación del oyente con respecto a la fuente objetivo plantea una barrera especial en la adaptación de la tecnología de audífonos direccionales fijos en poblaciones pediátricas, porque los niños a menudo no se encuentran delante del hablante objetivo en entornos con múltiples hablantes (Ching et al., 2009; Ricketts y Galster, 2008). Por ejemplo, Ching et al. (2009) evaluaron el comportamiento auditivo en bebés y niños pequeños con una edad entre 11 y 78 meses con y sin pérdida auditiva en situaciones de escucha realista simuladas. Concluyeron que los niños no eran constantes en su orientación con respecto al hablante objetivo, siéndolo en aproximadamente el 40% del tiempo. Ricketts y Galster (2008) concluyeron que los menores con y sin pérdida auditiva con una edad entre 4 y 17 años solían mirar al hablante principal en condiciones de escucha con múltiples hablantes en el aula, pero la orientación de la cabeza era muy variable.

Para activar la direccionalidad fija se puede utilizar la conmutación manual o automática. En la conmutación manual, se crea un programa de audífono independiente y se facilitan instrucciones al usuario sobre cuándo y cómo se debe conmutar entre el OMNI y el micrófono direccional. A pesar del entrenamiento, ni los niños ni los adultos mantienen una coherencia en la conmutación manual del programa que proporcionaría la mejor SNR (Cord, Surr, Walden y Dyrland, 2004; Ricketts et al., 2017). La conmutación automática se introdujo con el objetivo de cambiar de un OMNI a un programa de micrófono direccional automáticamente, basándose en el análisis de la entrada acústica. Algunas pruebas sugieren que los algoritmos de conmutación automática seleccionan el ajuste óptimo del micrófono aproximadamente el 80%-90% del tiempo en el caso de oyentes adultos en diversas condiciones de escucha de la vida real (Fabry y Tchorz, 2005; Olson, Ioannou, y Trine, 2004; Summers et al., 2008). No obstante, se debe tener en cuenta que la conmutación apropiada entre los modos de micrófono depende del entorno de escucha, que incluye el número y la ubicación de las señales objetivo y el tipo de sonidos de fondo competitivos.

Ricketts et al. (2017) evaluaron la precisión de un algoritmo direccional fijo de conmutación automática en

## Marzo-Abril 2020 - número 2

el aula. Los participantes eran 26 menores con hipoacusia (6-17 años) a los que se equipó con audífonos de estudio. Un observador entrenado determinaba si un micrófono OMNI o un micrófono direccional fijo proporcionaría la SNR óptima en diversos entornos de escucha durante la jornada escolar. Las opiniones del observador se compararon con el ajuste de micrófono seleccionado por el algoritmo automático. En los distintos entornos de escucha, el ajuste con la SNR óptima determinada por el observador y el ajuste seleccionado por el algoritmo automático se mostraron en desacuerdo en el 38% del tiempo. Esta observación representa un reto para los clínicos que deben decidir si se debe activar la direccionalidad fija, siendo conscientes que puede reducir la audibilidad o no proporcionar la SNR óptima en algunos entornos de escucha (McCreery et al., 2012). Además, proporcionar a los niños una direccionalidad fija puede reducir las oportunidades de aprendizaje incidental, especialmente cuando los compañeros de clase o los instructores se encuentran detrás o a su lado. La falta de pruebas que respalden o refuten este riesgo potencial, en combinación con la incertidumbre sobre la orientación de la cabeza, ha dado lugar a la recomendación clínica general de que la tecnología de micrófono direccional se considere únicamente en el caso de niños mayores o de niños que no tengan acceso a sistemas de micrófono remoto (p. ej., Johnson, 2008).

Una limitación clave de la direccionalidad fija, se implemente o no la conmutación manual o adaptativa, es que los sonidos que se originan detrás del oyente se atenúan. La direccionalidad totalmente adaptativa se desarrolló para abordar esta limitación conmutando entre el modo OMNI y diferentes patrones polares direccionales, dependiendo de la ubicación de los sonidos en el entorno (p. ej., Kuk, Keenan, Lau y Ludvigsen, 2005). Esta tecnología parece ofrecer varias ventajas en comparación con la direccionalidad fija en el caso de los niños. Los entornos naturales de los niños, en especial los entornos escolares, son muy variables y cambian con rapidez; es probable que los sonidos que se consideran ruido de fondo y habla objetivos cambien en un momento dado, y la posición de las fuentes de habla y ruido puede variar con frecuencia durante la jornada escolar (p. ej., aula, gimnasio, comedor, pasillos y patio de recreo).

En estos tipos de situaciones de escucha complejas, el hablante de interés puede cambiar en un momento dado, por lo que el habla procedería de diferentes lugares del espacio. Recientemente, Wolfe, Duke, Schafer, Jones y Rakita (2017) evaluaron el impacto de la direccionalidad totalmente adaptativa en el reconocimiento de oraciones en presencia de ruido en un grupo de 12 menores (7-17 años) con una pérdida auditiva de leve a moderadamente severa. Los resultados fueron contradictorios y dependían de la condición de escucha. Si bien el desempeño de los menores mejoró con el programa direccional totalmente adaptativo en presencia de ruido difuso (presentado a 45°, 135°, 225° y 315°) cuando la señal se presentaba delante de ellos, se detectó una disminución en el desempeño del reconocimiento del habla con el algoritmo direccional adaptativo cuando la señal se presentaba directamente detrás (180°). La observación de un desempeño menor en el habla objetivo cuando se presentaba detrás de los menores es congruente con los hallazgos notificados por Ricketts et al. (2007) con la tecnología de micrófono direccional fijo.

Una pregunta importante sin respuesta sobre el beneficio potencial de la tecnología de micrófono totalmente adaptativo para su uso en niños con hipoacusia es la manera en que influye en el reconocimiento del habla en presencia de un pequeño número de hablantes competitivos. Como se ha comentado anteriormente en la introducción, la posibilidad de la atenuación del habla en el entorno es una cuestión preocupante cuando se utiliza la direccionalidad adaptativa en el aula. Esta laguna en la literatura

## Marzo-Abril 2020 - número 2

motivó el presente experimento. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un algoritmo, que tuviera en cuenta la direccionalidad de audífono totalmente adaptativo y la tecnología de reducción de ruido, en el reconocimiento del habla por parte de los niños en presencia de ruido competitivo y habla competitiva. La predicción a priori era que el uso del algoritmo combinado de direccionalidad y reducción de ruido daría lugar a un mejor desempeño en el reconocimiento del habla en comparación con el ajuste OMNI, en el caso de los niños con hipoacusia, cuando el ruido de fondo fuese en forma de habla, incluso cuando los participantes no se encontrasen directamente delante de la fuente objetivo. Una predicción adicional fue que en el reconocimiento del habla se obtendría un desempeño similar en los dos ajustes de audífono cuando el ruido de fondo fuesen dos flujos de habla.

### Método

#### *Participantes*

Catorce niños con hipoacusia participaron en este estudio. Los umbrales conductuales de tonos puros obtenidos en frecuencias de octava de 250 a 8000 Hz indicaron un rango de pérdida auditiva de leve a severa. Los niños tenían edades comprendidas entre 5;10 y 14;8 años;meses ( $M = 10;8$ ). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) pérdida auditiva neurosensorial bilateral, (b) uso constante de amplificación bilateral, (c) inglés como lengua materna y (d) ausencia de historial clínico conocido de enfermedad crónica del oído medio. En la Tabla 1 se muestra la información demográfica y de amplificación de los niños con hipoacusia. En la Tabla 2 se facilitan los umbrales de tonos puros de los niños con hipoacusia. A cada participante se le realizó un test de audición con auriculares de inserción al comienzo de la visita, a no ser que se le hubiera realizado una evaluación audiológica en una visita clínica en un plazo de 6 meses antes de la fecha de la prueba.

Un grupo de 14 niños con audición normal participó también en el estudio. Estos niños fueron emparejados por edades con los 14 niños con hipoacusia, con una diferencia máxima de 6 meses, estando comprendidas entre 6;1 y 14;9 ( $M = 10;7$ ). Todos los niños con audición normal eran hablantes nativos de inglés y se les realizó un test de audición antes de la prueba (es decir, umbrales de  $< 20$  dB HL para frecuencias de octava entre 250 y 8.000 Hz; American National Standards Institute, 2004).

#### *Algoritmo combinado de direccionalidad y reducción de ruido*

En la investigación actual se ha evaluado un algoritmo de micrófono direccional integrado y de reducción de ruido, OpenSoundNavigator de Oticon (OSN; Le Goff, Jensen, Pedersen y Callaway, 2016). Este algoritmo es una combinación de direccionalidad totalmente adaptativa y reducción de ruido de acción rápida. En concreto, OSN utiliza un canal de dos micrófonos para captar una respuesta de micrófono OMNI y un micrófono cardioide orientado hacia atrás para determinar el nivel y la ubicación espacial de las fuentes de ruido y habla en el entorno. Tras la estimación del ruido multimicrófono, el sistema de direccionalidad utiliza un formador de haces de respuesta sin distorsión de varianza mínima, diseñado para utilizar el filtrado espacial y atenuar la fuente de ruido más fuerte entre las fuentes de habla, aumentando de esta manera la SNR (Kjems y Jensen, 2012). El sistema de reducción de ruido está integrado con el sistema de direccionalidad adaptativa, dado que también utiliza la estimación de ruido multimicrófono y el formador de haces de respuesta sin distorsión de varianza mínima, además de un filtro posterior que facilita una

## Marzo-Abril 2020 - número 2

reducción de ruido de acción rápida (Jensen y Pedersen, 2015; Kjems y Jensen, 2012). Esta estimación de reducción de ruido de acción rápida se actualiza 500 veces por segundo en 16 bandas de frecuencia independientes que permiten la eliminación del ruido entre palabras (Le Goff et al., 2016).

Uno de los objetivos declarados de la tecnología OSN es aplicar la direccionalidad y la reducción de ruido tras analizar las diferentes fuentes de sonidos competitivos (Le Goff et al., 2016). Si se detecta un ruido estacionario, se activa el algoritmo integrado de direccionalidad y reducción de ruido. Para evitar la atenuación del habla en el entorno, OSN trata de detectar la modulación del habla en 16 bandas de frecuencia diferentes. Si se detecta habla en una banda de frecuencia determinada, se prevé que el algoritmo desactivará los ajustes de direccionalidad y reducción de ruido en esa banda. De esta manera, se prevé que la información del habla se conservará independientemente de la posición del oyente en el entorno.

### **Recepción y verificación de audífonos**

Antes de la prueba, los niños con hipoacusia recibieron audífonos de auriculares en el oído (RITE) bilaterales Oticon Opn con adaptadores estándar (véase la Tabla 1). Un audiólogo de investigación realizó la adaptación y la verificación de los audífonos, con un Audioscan Verifit (versión 2.0). Se utilizó un pasaje de habla estándar para verificar los objetivos de ganancia en entradas con un volumen bajo, medio y alto, a 55, 65 y 75 dB SPL, respectivamente. Los objetivos prescriptivos se basaron en los umbrales audiométricos de cada participante y las diferencias “de oído real a acoplador” individuales con auriculares de inserción, utilizando el método nivel de sensación deseada [e/s] v5.0 (Scollie et al., 2005). Las mediciones con micrófono de sonda de oído real permitieron constatar que los niveles de ganancia y de salida máxima de los audífonos coincidían con los objetivos prescritos en  $\pm 5$  dB a 0,25, 0,5, 1 y 2 kHz, y en  $\pm 8$  dB a 3 y 4 kHz (Gatehouse, Stephens, Davis y Bamford, 2001; Polonenko et al., 2010). Se registró la frecuencia audible máxima, definida como el punto en que el espectro promedio del habla a largo plazo cruza el audiograma en la pantalla de verificación (véase la Tabla 1). En la Tabla 1 se facilita también el índice de inteligibilidad del habla proporcionado por Audioscan Verifit para una entrada de 65 dB SPL a los audífonos. Una vez que se realizaron los ajustes de precisión y se aproximó la ganancia lo máximo posible a los objetivos prescriptivos, el programa de audífonos se duplicó para crear un segundo programa con unos niveles de ganancia y de salida máxima idénticos. Un programa se configuró en OMNI y el otro en OSN. En la configuración de OSN, se activaron los ajustes de direccionalidad automática y reducción de ruido. OSN se ajustó en la configuración más alta utilizando el software de adaptación de audífonos patentado del fabricante (es decir, Noise Reduction simple se configuró en -3 dB, Open Sound Transition se configuró en alta y Noise Reduction complex se configuró en -9 dB). En la configuración de OMNI, se desactivó la reducción de ruido y se seleccionó “pinna omni” como configuración de direccionalidad. El resto de las características y configuraciones eran idénticas entre los dos programas.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

**Tabla 1.** Información demográfica y de dispositivos de los niños con hipoacusia.

Participante	Sexo	Estrato	Edad en la primera evaluación de audición (años)	Tiempo de diagnóstico en audición (años)	Edad en la segunda evaluación (años)	Amplificación actual	El estudio		El estudio		Faltó una evaluación de 60 dB HL o más (años)	Faltó una evaluación de 60 dB HL o más (años)	Aplicación de SSI: información en el estudio actual
							60 dB HL o más (años)	60 dB HL o más (años)	60 dB HL o más (años)	60 dB HL o más (años)			
Aud-1	F	Indefinición verbal	0,1	7,8	11,0	Clear Sound Pro	0	0	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-1	F	Escuchando	0,9	7,4	11,0	Phonak Neo 6000 01	1	1	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-3	M	Comunicación	0,1	0,1	0,8	Phonak (Nu-200) 001	0	1	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-4	M	Sordida	0	0,1	10,1	Clear Sound 070 11	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-5	M	Sordida	0	0,8	14,8	Clear Sound 070 11	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-6	M	Comunicación	4	10,7	14,7	Clear Sound 070 11	1	0	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-7	F	Comunicación	3	7,9	0,9	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-8	M	Comunicación	0	10,8	15,8	Clear Neo Neo 01	0	1	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-9	M	Sordida	0	0,1	11,1	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-10	M	Sordida	0	0,1	11,1	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-11	M	Sordida	4	0,8	0,8	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-12	M	Comunicación	0,9	0,1	0	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
Aud-13	F	Comunicación	0,9	0,1	0,8	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Presentó SSI
Aud-14	F	Comunicación	0,1	7,9	11,9	Phonak (Nu-200) 001	0	0	0	0	0	0	Non-implanted SSI
N				0,1	0,7		17,8	17,8	0	0	0	0	
SD				0,1	0,7		0,8	11,7	10,8	0	0	0	

Nota: Aud. = audición; 01 = índice de comunicación/lectura; 0 = sordidad; M = masculino; Presentó SSI = información actualizada/Clase Gen.

**Tabla 2.** Umbrales de tonos puros (dB HL) de los niños con hipoacusia

Participante	Frecuencia (Hz)														
	Oído izquierdo							Oído derecho							
	250	500	1000	2000	4000	8000	PTP*	250	500	1000	2000	4000	8000	PTP*	
Aud-1	25	30	40	60	80	90	40,7	10	20	30	50	60	80	20	
Aud-1	40	30	40	60	80	90	38,3	40	30	50	60	60	40	30	
Aud-3	30	40	60	80	80	80	70	30,7	30	30	40	60	60	70	30,3
Aud-8	30	30	40	40	40	40	30,7	30	30	30	40	40	40	30,3	
Aud-8	30	40	60	60	60	60	40,7	30	40	60	60	60	60	40,7	
Aud-8	30	40	60	70	80	80	38,7	30	40	60	70	60	60	38,7	
Aud-7	50	50	60	60	60	60	50,0	60	60	60	70	60	60	50,7	
Aud-9	30	40	60	60	60	60	40	40	40	60	60	60	30	40,7	
Aud-9	30	30	30	30	40	60	28,3	30	30	30	30	30	40	28,3	
Aud-10	30	30	30	30	30	60	28,3	30	30	30	30	30	30	28,3	
Aud-11	30	30	40	40	40	60	40	30	30	40	40	40	40	40	
Aud-12	30	30	40	40	30	50	40	30	30	40	40	30	30	40	
Aud-13	0	10	30	60	70	70	30	10	30	40	70	70	60	40	
Aud-14	30	30	40	60	60	60	40,3	30	40	60	60	60	40	40	

Nota: PTP = sin respuesta.  
 \*Promedio tonos puros (PTP) de tres frecuencias: 500, 1000 y 2000 Hz.

La supresión de retroalimentación no se activó. El control de volumen se deshabilitó. La tecnología de reducción de frecuencia no estaba disponible en los dispositivos.

### Estímulos y condiciones

Los estímulos objetivo procedían de un recopilatorio de más de 800 palabras monosilábicas seleccionadas de las listas de lectura en inglés para niños de 5 y 6 años (Corbin, Bonino, Buss y Leibold, 2016). Un hombre monolingüe de habla inglesa que hablaba un dialecto de inglés americano estándar se encargó de leer los estímulos objetivo. Este locutor tenía una F0 promedio de 102 Hz. Las palabras objetivo se grabaron con una velocidad de muestreo de 44.100 Hz, se les realizó un muestreo descendente a 24.414 Hz y se normalizaron con respecto al nivel de la raíz cuadrática media.

Los enmascaradores eran dos flujos de habla separados o dos muestras diferentes de “ruido en forma de habla” (SSN, por sus siglas en inglés) presentados continuamente durante las pruebas. Cada flujo de habla era una grabación realizada por un locutor monolingüe de inglés americano que leía un pasaje diferente del cuento infantil Jack and the Beanstalk (Jack y las Habichuelas Mágicas). El locutor objetivo y los dos



## Marzo-Abril 2020 - número 2

locutores del habla de enmascaramiento eran jóvenes estudiantes universitarios. Los dos locutores que generaron el habla de enmascaramiento se diferenciaban del locutor del habla objetivo, pero también hablaban con un dialecto de inglés americano estándar. Estos dos locutores tenían una F0 media de 121 y 140 Hz.

Una muestra tenía una duración de 2 min 57 s, y la otra de 2 min 36 s. En ambas muestras se identificaron pausas silenciosas de 300 ms o superiores, y se editaron manualmente hasta alcanzar aproximadamente 100 ms. Si bien la mayoría de las ejecuciones del experimento no duró más de 2 minutos, las muestras de los dos locutores se repitieron sin discontinuidad en el caso de las ejecuciones más largas. Los dos flujos de habla se digitalizaron utilizando una resolución de 32 bits y una frecuencia de muestreo de 24.414 kHz y, a continuación, se equilibraron para el nivel de la raíz cuadrada media general. Se crearon dos muestras diferentes de SSN, correspondientes al espectro de potencia a largo plazo de cada grabación con enmascarador de cada locutor.

Los participantes realizaron la prueba permaneciendo sentados en el centro de un campo de sonido, ubicado a 1,2 m de cada uno de los cuatro altavoces esféricos Elipson Planet M. Los cuatro altavoces estaban colocados a 0°, 135°, 225° y 300° en acimut (véase la Figura 1). En todas las condiciones, los participantes debían orientar la cabeza a 0° en todo momento. Los enmascaradores de SSN o de habla siempre se presentaron desde los altavoces colocados a 135° y 225°. Los participantes realizaron la prueba en cada una de las tres condiciones de escucha. En la primera condición de escucha, las palabras objetivo se presentaron a través del altavoz ubicado a 0° y los enmascaradores fueron dos muestras diferentes de SSN. Una muestra de SSN se presentó a través del altavoz ubicado a 135° y la otra en el altavoz ubicado a 225°. En la segunda condición de escucha, las palabras objetivo se presentaron a través del altavoz situado a 300° con respecto al participante en acimut, y los enmascaradores fueron las mismas muestras de SSN utilizadas en la primera condición. Una muestra de SSN se presentó a través del altavoz ubicado a 135° y la otra en el altavoz ubicado a 225°. En la tercera condición de escucha, las palabras objetivo se presentaron a través del altavoz ubicado a 0° y los enmascaradores fueron dos flujos continuos de habla. Un flujo de habla enmascaradora se presentó a través del altavoz ubicado a 135° y el otro a través del altavoz ubicado a 225°. Estas tres condiciones de escucha se denominaron Enmascaradores de ruido frente al objetivo, Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo, respectivamente.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

Figura 1. Esquema de las tres condiciones de escucha que se sometieron a prueba. La condición Enmascaradores de ruido frente al objetivo se encuentra a la izquierda, la condición Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo se encuentra en el centro, y la condición Enmascaradores de habla frente al objetivo se encuentra a la derecha.



La selección y la presentación de los estímulos se controlaron con el software macOS personalizado (Max 7). Los estímulos objetivo y con enmascarador se enviaron a una tarjeta de sonido (RME MADiface XT) y a un convertidor AD/DA de 32 canales/192 kHz (Antelope Audio Orion 32). A continuación, se amplificaron en cuatro canales (Applied Research and Technology SLA-4) y se presentaron a través de altavoces (Elipson Planet M).

### Mediciones KEMAR

Se estimaron las respuestas asistidas de oído real para cada oído, la condición de escucha (Enmascaradores de ruido frente al objetivo, Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo) y el ajuste del audífono (OMNI, OSN). Los audífonos se configuraron con ganancia lineal (es decir, sin compresión de amplitud) para poder determinar la SNR. Las mediciones se registraron utilizando un acoplador IEC 711 Zwislocki conectado a un maniquí electrónico Knowles para investigación acústica (KEMAR: G.R. A.S Sound and Vibrations). Las mediciones se obtuvieron con una SNR de +5 dB; la señal fue de 65 dB SPL, y cada uno de los dos enmascaradores fue de 60 dB SPL. Las mediciones en SSN con los audífonos configurados en OMNI indicaron una SNR bilateralmente de 5,2 dB cuando el objetivo se presentaba a 0°. Las mediciones correspondientes con el objetivo a 300° indicaron una SNR de 7,6 dB en el oído derecho y una SNR de 1,7 dB en el oído izquierdo. A continuación, se evaluó el efecto del OSN en la SNR, tanto para el SSN como para los enmascaradores del habla. Estas mediciones indicaron que, si bien el OSN redujo el nivel de los enmascaradores de SSN en aproximadamente 3 dB para ambas condiciones con SSN, el efecto del OSN en el nivel del enmascarador del habla fue inferior a 0,5 dB.

### Procedimiento

Las pruebas se realizaron en campo libre; los niños con hipoacusia utilizaron audífonos experimentales durante las pruebas. Los umbrales de reconocimiento del habla se midieron para cada condición de escucha en cada ajuste de audífono mediante un procedimiento de reconocimiento de palabras en contexto

## Marzo-Abril 2020 - número 2

abierto. Los participantes realizaron las pruebas en campo libre en una gran cabina insonorizada de 17 x 19 x 9 pies cúbicos (5,18 x 5,79 x 2,74 m<sup>3</sup>), con pared simple y espuma acústica adicional en paredes y techo. Las mediciones acústicas de referencia obtenidas en la cabina midieron el nivel de ruido ambiental a 24,4 dBA, y el tiempo de reverberación fue de  $\leq 0,024$  s. Los participantes utilizaron un transmisor inalámbrico (Shure BLX1 Bodypack) y un micrófono con auriculares (Shure Microflex MX153) durante las pruebas. La señal se envió a un receptor conectado a la tarjeta de sonido (RME MADiface XT), permitiendo que un evaluador principal sentado fuera de la cabina escuchase la respuesta del participante a través de los auriculares (AKG Pro Audio K99 Perception). Esta configuración proporcionó al evaluador principal una SNR ventajosa para registrar la respuesta del participante en tiempo real. El evaluador principal utilizó dos ordenadores durante las pruebas. Un ordenador se utilizó para introducir la respuesta del participante. El segundo ordenador estaba conectado a un monitor de vídeo dentro de la cabina, lo que permitía al evaluador principal visualizar el rostro del participante. Durante las pruebas, además del evaluador principal, un asistente se encontraba dentro de la cabina. El asistente permanecía sentado cerca de una pantalla de ordenador y un teclado, y también podía visualizar el rostro del participante (es decir, frente al participante pero fuera del conjunto de altavoces). En las excepciones se incluyen nueve participantes (seis niños con hipoacusia y tres niños con audición normal) que realizaron las pruebas únicamente con el evaluador principal.

A los participantes se les indicó que repitieran la palabra objetivo e ignorasen los sonidos de fondo. Si no estaban seguros de la palabra que habían oído, se les animaba a que tratasen de adivinarla. El evaluador principal introducía la respuesta del participante mediante el teclado. El asistente podía visualizar la respuesta introducida en la pantalla del ordenador y debía informar si estaba de acuerdo o en desacuerdo con la entrada del evaluador principal. Si el asistente no estaba seguro de la respuesta del participante, le pedía que la repitiera. Si no estaba de acuerdo con la entrada del evaluador principal, el asistente tecleaba una respuesta diferente. Dado que el evaluador principal tenía la SNR más ventajosa, era quien adoptaba la decisión final sobre la respuesta del participante y determinaba si era correcta o incorrecta. Los desacuerdos entre el evaluador principal y el asistente fueron poco frecuentes. Si el participante no respondía en aproximadamente 5 s tras la presentación de la palabra objetivo, el evaluador principal calificaba el intento como incorrecto.

Las palabras objetivo se presentaron a un nivel fijo de 65 dB SPL. Se seleccionaba aleatoriamente una palabra objetivo con reemplazo antes de cada prueba. Si bien una palabra se podía presentar varias veces en una determinada sesión, hay que recordar que el recopilatorio contenía más de 800 palabras. Por lo tanto, la mayoría de las palabras no se repitió. El nivel del enmascarador se modificaba adaptativamente utilizando la regla de "uno arriba, uno abajo" (Levitt, 1971), y se medía la SNR correspondiente a la identificación correcta de palabras del 50%. El nivel inicial del enmascarador era de 45 dB SPL en la primera ejecución de todas las condiciones de escucha. En la segunda ejecución de cada condición, el nivel inicial del enmascarador era de 10 dB por debajo del umbral estimado de la primera ejecución. El nivel del paso inicial de la pista adaptable era de 4 dB, que se reducía a 2 dB después de la segunda inversión de pista. Se obtuvieron ocho inversiones para cada ejecución y el umbral se calculó como el nivel medio del enmascarador en las últimas seis inversiones. Los participantes realizaron dos ejecuciones en cada condición de escucha. Si los dos umbrales diferían en menos de 5 dB, se promediaban para calcular el umbral; sin embargo, si las dos primeras estimaciones de umbral diferían en más de 5 dB, se realizaba una tercera ejecución. Los umbrales de las tres ejecuciones se promediaban para calcular el umbral. Los niños

## Marzo-Abril 2020 - número 2

con hipoacusia realizaron la prueba en ambos ajustes de audífonos (OMNI y OSN). En el caso de estos niños, el orden de las pruebas correspondientes a los ajustes de OMNI y OSN se compensó; todas las condiciones experimentales en el primer ajuste del audífono se realizaban antes de comenzar las pruebas en el segundo ajuste. Los niños con audición normal realizaron las pruebas en las tres condiciones de escucha en el campo de sonido y no utilizaron audífonos durante las mismas.

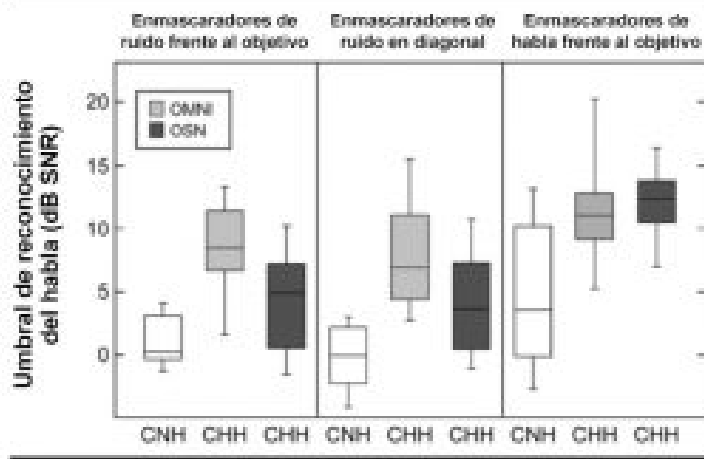
### Resultados

#### ***Efecto de OSN: Datos de grupo***

Se realizó un análisis de varianza con medidas repetidas (rmANOVA) bidireccional para comparar el desempeño de reconocimiento del “habla en presencia de ruido” y del “habla en presencia de habla” de los niños con hipoacusia entre los ajustes de audífono OSN y OMNI (véase la Figura 2). Este análisis incluyó el factor intrasujeto de ajuste del audífono (OMNI, OSN) y el factor intrasujeto de condición (Enmascaradores de ruido frente al objetivo, Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo). La prueba de esfericidad de Mauchly no fue significativa,  $\chi^2(2) = 2,39$ ,  $p = 0,32$ . Los efectos principales del ajuste del audífono,  $F(1, 13) = 14,06$ ,  $p < 0,002$ ,  $\eta^2 = 0,520$  y la condición,  $F(2, 26) = 39,65$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,753$ , fueron significativos. La interacción entre estos dos factores fue también significativa,  $F(2, 26) = 8,87$ ,  $p = 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,405$ , lo que indica que el beneficio de OSN no fue equivalente en las tres condiciones. En el análisis de seguimiento de esta interacción a través de comparaciones por pares (con ajustes de Bonferroni para comparaciones múltiples) se detectaron umbrales significativamente mejores con el ajuste de audífono OSN que con el ajuste OMNI en las dos condiciones que medían el desempeño en SSN (Enmascaradores de ruido frente al objetivo y Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo). El umbral medio de OMNI en los enmascaradores de ruido fue una SNR de 8,4 dB (DT = 3,9) cuando se encontraban frente al habla objetivo y de 7,8 dB (DT = 4,3) cuando se encontraban en diagonal al habla objetivo. Por el contrario, el umbral medio de OSN en los enmascaradores de ruido fue una SNR de 4,4 dB (DT = 4,1) cuando se encontraban frente al habla objetivo y de 4,0 dB (DT = 3,9) cuando se encontraban en diagonal al habla objetivo. Por lo tanto, se observó una mejora del umbral de aproximadamente 4 dB en ambas condiciones en presencia de ruido en el ajuste de audífono OSN frente al ajuste OMNI. No se apreció ninguna diferencia entre los ajustes de audífono OSN y OMNI en presencia del habla de dos hablantes (Enmascaradores de habla frente al objetivo). El umbral medio del “habla en presencia de habla” de los niños con hipoacusia fue una SNR de 11,5 dB (DT = 4,6) con OMNI y de 12,1 dB (DT = 3,2) con OSN.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

**Figura 2.** SNR correspondientes a un reconocimiento correcto de palabras del 50% en el caso de los niños con audición normal o CNH, por sus siglas en inglés (rectángulos blancos) y de los niños con hipoacusia o CHH, por sus siglas en inglés, en los dos ajustes de audifono (OMNI en rectángulos de color gris claro y OSN en rectángulos de color gris oscuro). Los datos correspondientes a cada condición de escucha (Enmascaradores de ruido frente al objetivo, Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo) se muestran en paneles independientes. La línea horizontal dentro de cada rectángulo representa el valor medio; los rectángulos abarcan el rango intercuartil (percentil 25-75) y las líneas verticales abarcan los percentiles 10-90. Las SNR más bajas indican un mejor desempeño que las SNR más altas. CNH = niños con audición normal; CHH = niños con hipoacusia; OMNI = ajuste de audifono omnidireccional; OSN = ajuste de audifono OpenSoundNavigator; SNR = relación señal/ruido.



### Comparación entre niños con audición normal y niños con hipoacusia

Se realizó un rmANOVA para probar la fiabilidad estadística de las tendencias observadas entre los niños con audición normal (CNH) y los niños con hipoacusia (CHH) que realizaron la prueba con OMNI en la Figura 2. Este análisis incluyó el factor intrasujeto de la condición (Enmascaradores de ruido frente al objetivo, Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo) y el factor de grupo entre sujetos (CNH, CHHOMNI). La prueba de esfericidad de Mauchly no fue significativa,  $\chi^2(2) = 5,25$ ,  $p = 0,07$ . Se observó un efecto principal significativo de grupo,  $F(1, 26) = 32,93$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,56$ , lo que confirma que los niños con hipoacusia mostraron un desempeño más bajo que los niños con audición normal. Se apreció un efecto principal significativo de condición,  $F(2, 52) = 22,27$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,46$ , pero la interacción de Condición x Grupo no fue significativa,  $F(2, 52) = 0,20$ ,  $p = 0,82$ ,  $\eta^2 = 0,01$ . Las comparaciones por pares post hoc (utilizando la corrección de Bonferroni) revelaron una diferencia significativa en el umbral entre los Enmascaradores de ruido frente al objetivo y los Enmascaradores de habla frente al objetivo, ( $p < 0,001$ ) y entre los Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y los Enmascaradores de habla frente al objetivo ( $p < 0,001$ ). Sin embargo, no se observó ninguna diferencia significativa en el umbral entre los Enmascaradores de ruido frente al objetivo y los Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo ( $p = 0,20$ ).

Se realizó un rmANOVA para determinar si los efectos de pérdida auditiva observados cuando se realizó con OMNI la prueba a los niños con hipoacusia se observaba también cuando se realizaba con OSN. Este análisis incluyó el factor intrasujeto de la condición (Enmascaradores de ruido frente al objetivo,

## Marzo-Abril 2020 - número 2

Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo) y el factor de grupo entre sujetos (CNH, CHHOSN). La prueba de esfericidad de Mauchly no fue significativa,  $\chi^2(2) = 0,96$ ,  $p = 0,61$ . Se observó un efecto principal significativo de grupo,  $F(1, 26) = 20,66$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,44$ , lo que confirma que los niños con hipoacusia mostraron un desempeño más bajo que los niños con audición normal, incluso cuando se utilizaba el ajuste OSN. Se apreció un efecto principal significativo de condición,  $F(2, 52) = 44,48$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,63$ , y una interacción de Condición x Grupo,  $F(2, 52) = 5,10$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,16$ .

Para investigar esta interacción, se realizaron análisis separados dentro de cada grupo mediante rMANOVA unidireccionales. En el caso de los niños con audición normal, la prueba de esfericidad de Mauchly fue significativa,  $\chi^2(2) = 16,09$ ,  $p = 0,001$ . Los grados de libertad se ajustaron utilizando estimaciones de Greenhouse-Geisser. Los resultados indicaron un efecto significativo de condición,  $F(1,15, 26) = 11,1$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,461$ . Las comparaciones por pares revelaron una diferencia significativa en el umbral entre las condiciones Enmascaradores de ruido frente al objetivo y Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo ( $p = 0,02$ ) y entre las condiciones Enmascaradores de ruido en diagonal al objetivo y Enmascaradores de habla frente al objetivo ( $p < 0,01$ ). Los valores de umbral medio en el caso de los niños con audición normal en los enmascaradores de ruido y habla frente al habla objetivo fueron de una SNR de 1,1 dB (DT = 1,9) y de 4,4 dB (DT = 5,5), respectivamente. No obstante, esta diferencia no alcanzó significación estadística ( $p = 0,059$ ). Se observó un patrón diferente de resultados en el caso de los niños con hipoacusia cuando realizaron la prueba con OSN. Aunque se apreció un efecto significativo de condición,  $F(2, 26) = 36,84$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,739$ , las comparaciones por pares no indicaron ninguna diferencia significativa entre las dos condiciones de enmascaradores de ruido ( $p = 1$ ). No obstante, se apreció una diferencia significativa entre los Enmascaradores de habla frente al objetivo y las dos condiciones de enmascaradores de ruido ( $p < 0,001$ ). A diferencia de los niños con audición normal, los umbrales en el caso de los niños con hipoacusia que realizaron la prueba con OSN fueron significativamente inferiores en presencia de un habla competitiva en comparación con la presencia de ruido.

### Discusión

En este estudio se compararon los umbrales de reconocimiento del habla de los niños con hipoacusia en ajustes de audífono OSN y OMNI, en presencia de SSN o flujos de habla competitivos. A nivel de grupo, con el ajuste OSN se mejoró el reconocimiento del habla en presencia de ruido, incluso cuando los niños no se encontraban delante de la fuente objetivo. No se observó ninguna diferencia significativa en el desempeño del reconocimiento del habla entre los ajustes OSN y OMNI cuando el ruido de fondo era dos flujos de habla.

Se observó una mejora media de 4 dB con el ajuste de audífono OSN frente al ajuste OMNI en presencia de SSN. Este hallazgo es congruente con las mediciones de KEMAR que muestran que OSN mejoraba la SNR aproximadamente 3 dB antes de la compresión de la amplitud. Es también congruente con los resultados de varios estudios en los que se evalúa la capacidad de los niños de obtener beneficios de la tecnología direccional en presencia de ruido (Gravel et al., 1999; Hawkins, 1984; Kuk, Kollofski, Brown, Melum y Rosenthal, 1999). Por ejemplo, Gravel et al. (1999) compararon el desempeño de un grupo de niños en reconocimiento del habla en un conjunto cerrado, con y sin la direccionalidad activada. El habla objetivo se

## Marzo-Abril 2020 - número 2

presentaba directamente delante del niño y el “parloteo” múltiple se presentaba directamente detrás. Se notificó una mejora media de 4,7 dB con el ajuste direccional frente al ajuste OMNI. En el estudio actual, así como en estudios anteriores (p. ej., Gravel et al., 1999; Hawkins, 1984), los niños se situaban directamente delante del hablante en la posición de 0°. Como se ha mencionado anteriormente, la dependencia del beneficio direccional de la orientación del oyente con respecto a la fuente objetivo ha planteado una barrera significativa en la adaptación de la tecnología de audífonos direccionales en poblaciones pediátricas, en gran parte porque los niños a menudo no se encuentran delante del hablante objetivo en entornos con múltiples fuentes (p. ej., Ricketts y Galster, 2008). Un hallazgo importante de este estudio es que los niños con hipoacusia obtuvieron un beneficio con OSN en presencia de ruido, incluso cuando no se encontraban delante del hablante objetivo a 300° en acimut. Se justifica la realización de experimentos adicionales para evaluar con mayor profundidad el desempeño de los niños con OSN en enmascaradores de ruido estacionario con habla (y enmascarador) objetivo presentada desde una variedad de ubicaciones espaciales diferentes.

En promedio, los niños con hipoacusia mostraron un desempeño en el reconocimiento de palabras similar con el ajuste de audífono OSN y el ajuste OMNI cuando el ruido de fondo consistía en flujos de habla competitivos. Estos hallazgos son congruentes con las mediciones de KEMAR que muestran que el algoritmo OSN no se activa cuando se detectan en el entorno múltiples flujos de habla. En estudios anteriores se ha evaluado el desempeño en presencia de un ruido estacionario (p. ej., Hawkins, 1984), un ruido con más de tres hablantes, como el “parloteo” múltiple (Gravel et al., 1999; Hornsby y Ricketts, 2007), el ruido de un comedor (Ricketts et al., 2007) o el ruido de una fiesta (Kuk et al., 1999). No nos consta la existencia de estudios en los que se hayan evaluado los efectos de la tecnología de micrófono direccional en la percepción del habla enmascarada en condiciones en las que se prevea que se vaya a producir un enmascaramiento sustancial de información, además del enmascaramiento energético, como los enmascaradores compuestos por uno o dos hablantes (p. ej., Brungart, 2001; Carhart et al., 1969; Freyman et al., 2004). En las pruebas de desempeño del reconocimiento del habla con un enmascarador altamente informativo, como dos flujos de habla, se evalúa la capacidad de los niños de convertir formas de onda acústicas en objetos auditivos (segregación de fuentes sonoras; Bregman, 1990) y de seleccionar el objeto auditivo apropiado para un procesamiento posterior, al mismo tiempo que se descartan sonidos irrelevantes (p. ej., atención selectiva). Existe una información escasa sobre la manera en que la tecnología de micrófono direccional influye en la capacidad de los niños de segregarse el habla objetivo y el habla con enmascarador. Si los niños se encuentran permanentemente delante de la fuente objetivo y la fuente de habla competitiva está suficientemente separada espacialmente de la fuente del habla, es probable que un algoritmo de micrófono direccional fijo mejore la SNR del habla objetivo y se obtenga una mejora en el reconocimiento del “habla en presencia de habla”.

En esta condición de escucha específica, es probable que con un algoritmo direccional fijo se consiga un mejor desempeño que con el algoritmo OSN. No obstante, si los niños no se encuentran delante de la fuente objetivo, es probable que con la direccionalidad fija se consiga un desempeño menor que con la omnidireccionalidad (Ricketts et al., 2007) o el algoritmo OSN. El algoritmo OSN puede ser una buena solución de compromiso en el caso de los niños que se encuentren en entornos con múltiples fuentes que contengan un pequeño número de flujos de habla competitivos; en el presente estudio, la activación del algoritmo OSN no influyó en el reconocimiento del habla objetivo en presencia de dos flujos de habla enmascarada separados espacialmente.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

Si bien no se observó ningún efecto del OSN en presencia de habla competitiva, es importante destacar que el OSN no redujo el acceso al habla competitiva. El desempeño del reconocimiento del habla fue equivalente entre OSN y OMNI cuando el habla se presentaba desde tres fuentes en el entorno (0°, 135° y 225°). Este dato es fundamental si se tiene en cuenta que los entornos naturales de los niños, especialmente los entornos escolares, son muy variables y cambian con rapidez. Es probable que los sonidos que se consideran habla objetivo y ruido de fondo cambien en el transcurso del día. Consideremos, por ejemplo, la diferente ubicación de las fuentes de habla y ruido si el entorno es el aula, el gimnasio, el comedor, los pasillos o el patio de recreo. En cualquiera de estas situaciones, pueden existir múltiples hablantes de interés. De hecho, esta posibilidad es congruente con los resultados de Ricketts et al. (2017), que señalan que, en más de la mitad del tiempo de comunicación activa en entornos escolares, los micrófonos OMNI proporcionan una mejor SNR en comparación con la direccionalidad fija con conmutación automática. Las recomendaciones clínicas no han respaldado la activación de la direccionalidad fija en el caso de niños pequeños por varios motivos: (a) los niños no muestran constancia a la hora de situarse delante del hablante objetivo, (b) el algoritmo puede reducir la audibilidad o no proporcionar la SNR óptima en algunos entornos de escucha, y (c) la direccionalidad fija podría reducir las oportunidades del aprendizaje incidental. El OSN parece ofrecer varias ventajas sobre la tecnología direccional fija, porque no depende de que los niños se encuentren delante del hablante objetivo (si el hablante se encuentra a 300°) y proporciona acceso a varios hablantes en el entorno (porque el OSN no se activa cuando se presentan enmascaradores del habla detrás del oyente).

El “habla en presencia de ruido” y el “habla en presencia de habla” siguen siendo un reto para los niños con hipoacusia, incluso con la mejora en presencia de ruido asociada con el uso del OSN. Si bien el OSN mejora el desempeño de los niños con hipoacusia en presencia de ruido, estos niños siguen mostrando un desempeño menor que el de sus compañeros de la misma edad y con una audición normal, y en ambas condiciones de ruido competitivo, necesitando una SNR superior en 4 dB en presencia de ruido para mostrar el mismo desempeño que los niños con una audición normal. Esta diferencia de desempeño requiere un aumento de 7 dB cuando el ruido de fondo es un habla competitiva. Lo anterior es congruente con el estudio de Leibold et al. (2013), que notificaron una diferencia de desempeño entre los niños con hipoacusia y los niños con una audición normal de 3,5 dB en presencia de SSN, en comparación con 8,1 dB en el enmascarador de dos hablantes. Es importante tener en cuenta que este patrón de resultados fue diferente cuando se evaluó a los niños con hipoacusia con OMNI, donde fue necesaria una SNR superior en 7-8 dB en ambos enmascaradores de ruido y habla para lograr el mismo desempeño que los niños con una audición normal. Por lo tanto, la magnitud de la diferencia de desempeño entre los niños con hipoacusia y los niños con una audición normal en el enmascarador de ruido dependía de si el OSN estaba activado o no.

### **Limitaciones e implicaciones clínicas**

Una limitación de este estudio fue la falta de audífonos personalizados para cada niño. Si bien los audífonos se adaptaron utilizando medidas con sonda de micrófono para igualar los objetivos de nivel de sensibilidad prescriptivos deseados para cada niño, las prestaciones avanzadas de los audífonos se configuraron de la misma manera para todos los niños. Por ejemplo, el ajuste de OSN no se personalizó para cada niño en el software de programación; OSN se ajustó en la configuración más alta utilizando el software de adaptación de audífonos patentado del fabricante. Otras prestaciones, como la supresión de retroalimentación, no se activaron. La tecnología de reducción de frecuencia no estaba disponible en los dispositivos utilizados. No



## Marzo-Abril 2020 - número 2

queda claro si la personalización de los audífonos o la utilización de prestaciones adicionales influiría en el patrón de resultados observado en el estudio actual. Una limitación adicional podría ser la aclimatación a corto plazo de los participantes. Los participantes utilizaron audífonos Oticon Opn durante unos minutos antes de realizar la prueba de reconocimiento del habla con los dispositivos.

El hallazgo de que el OSN mejoraba el reconocimiento del habla en presencia de ruido, incluso cuando los participantes no se encontraban delante de la fuente objetivo, sugiere que los niños no necesitan orientarse hacia el objetivo de interés para obtener beneficios del OSN. No obstante, se debe tener en cuenta que el algoritmo OSN se evaluó únicamente en dos configuraciones espaciales en este estudio (objetivo desde 0° y 300°). Recordemos que, si bien Wolfe et al. (2017) observaron un beneficio de la direccionalidad totalmente adaptable en los niños cuando el habla objetivo se presentaba desde un altavoz directamente delante, se observó una disminución del desempeño cuando el altavoz objetivo se encontraba ubicado directamente detrás. Resulta difícil comparar los resultados actuales con los de Wolfe et al. En este estudio, se evaluó el efecto de la direccionalidad totalmente adaptable utilizando un algoritmo de audífono diferente. Además, los enmascaradores se componían de ruido difuso generado por cinco altavoces que rodeaban al oyente. La observación de un desempeño similar entre las condiciones de OMNI y OSN cuando los enmascaradores eran flujos de habla presentados detrás del oyente, combinados con estimaciones de SNR medidas utilizando KEMAR, indica que el OSN no se activa cuando se detecta la existencia de habla. Como resultado, si uno de los enmascaradores del habla ubicado a 135° o 225° se convirtiese en el hablante de interés, la SNR sería congruente entre OSN y OMNI. Este dato contrasta con la direccionalidad fija, donde se han notificado efectos negativos en condiciones en las que el habla objetivo se originaba desde un altavoz situado al lado o detrás del niño (p. ej., Lee, Lau y Sullivan, 1998; Ricketts et al., 2007). Para proporcionar una SNR mejorada con respecto a OMNI cuando el habla objetivo se encuentre detrás de un oyente, un patrón direccional debería orientarse hacia su espalda. Si bien OSN no está diseñado para mejorar la SNR con respecto a OMNI cuando los hablantes objetivo se encuentran en el entorno, no se produce una reducción de la SNR cuando se presentan dos flujos de habla detrás del oyente. No obstante, se justifica la realización de experimentos adicionales para evaluar con mayor profundidad el desempeño de los niños con OSN, así como otros algoritmos en una variedad de configuraciones espaciales (p. ej., cuando el habla enmascaradora se presenta directamente detrás del oyente a 180°).

No se prevé que la tecnología OSN sustituya a los sistemas de micrófono remoto, como los sistemas FM. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en varios estudios, en los que se evalúan sistemas de micrófono remoto, se ha demostrado que con la activación de los micrófonos ambientales en los audífonos se consigue una ventaja de SNR entre 3 y 5 dB (p. ej., Crandell y Smaldino, 2000b). Es comparable con la mejora de 4 dB proporcionada por OSN en presencia de ruido estacionario. Si bien la mejora realista en SNR es similar en ambas intervenciones, los sistemas de micrófono remoto son la intervención preferida en las aulas, dado que la mejora en SNR siempre se producirá en la voz del profesor. Si bien OSN no se propone como un sustituto de los sistemas de micrófono remoto en el aula, puede ser una buena opción para niños en entornos escolares con múltiples hablantes de interés, dado que OSN no depende de que los niños se encuentren delante del hablante de interés y también permite un aprendizaje incidental. Esta tecnología puede ser especialmente útil en el caso de los niños que actualmente no utilizan sistemas de micrófono remoto en algunas o todas las aulas, debido a alguna consideración estética o social, portabilidad, gastos escolares, etc. Se justifica la realización de un estudio de seguimiento en el que se evalúe el desempeño del reconocimiento del habla con OSN, conjuntamente con sistemas de micrófono remoto.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

### Conclusiones

En los resultados de este estudio de investigación se concluyó que, a nivel de grupo, OSN mejoraba el reconocimiento del habla en presencia de ruido en forma de habla (SSN, por sus siglas en inglés) en el contexto de un procedimiento de reconocimiento de palabras monosilábicas adaptativo y abierto. La segunda condición de escucha confirmó que los niños no necesitaban situarse delante del hablante objetivo para mostrar una mejora en el desempeño del reconocimiento del habla utilizando OSN. Cuando el ruido de fondo era ruido de habla, OSN no influía en el reconocimiento del habla en comparación con el ajuste de audífono OMNI. Si bien OSN no se propone como sustituto de los sistemas de micrófono remoto en el aula, parece ofrecer varias ventajas sobre la tecnología direccional fija; OSN no depende de que los niños se encuentren delante del hablante objetivo y proporciona un acceso a múltiples hablantes en un entorno determinado.

### Agradecimientos

Este trabajo fue patrocinado por una subvención de Oticon, Inc., y a través del respaldo del Boys Town National Research Hospital, otorgada a Lori Leibold. Los autores agradecen a los miembros del Human Auditory Development Lab sus contribuciones, en especial, a Maggie Miller y Manuel Vicente. Este artículo está dedicado a Rudy Leibold y Dave Browning.

### Bibliografía

- American National Standards Institute.** (2002). *Acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools* (ANSI S12.60). Melville, NY: Acoustical Society of America.
- American National Standards Institute.** (2004). *Methods for manual pure-tone threshold audiometry* (ANSI S3.21-2004). Washington, DC: Author.
- American Speech-Language-Hearing Association.** (1995). Position statement and guidelines for acoustics in educational settings. *American Speech-Language-Hearing Association*, 37(Supl. 14), 15-19.
- Amlani, A. M.** (2001). Efficacy of directional microphone hearing aids: A meta-analytic perspective. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12(4), 202-214.
- Auriemmo, J., Kuk, F., Lau, C., Dornan, B. K., Sweeton, S., Marshall, S. y Stenger, P.** (2009). Efficacy of an adaptive directional microphone and a noise reduction system for school-aged children. *Journal of Educational Audiology*, 15, 15-27.
- Bagatto, M., Scollie, S. D., Hyde, M. y Seewald, R.** (2010). Protocol for the provision of amplification within the Ontario infant hearing program. *International Journal of Audiology*, 49(Supl. 1), S70-S79.
- Barker, B. A. y Newman, R. S.** (2004). Listen to your mother! The role of talker familiarity in infant streaming. *Cognition*, 94(2), B45-B53.
- Bentler, R. A.** (2005). Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing

## Marzo-Abril 2020 - número 2

- aids: A systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(7), 473-484.
- Boymans, M. y Dreschler, W. A.** (2000). Field trials using a digital hearing aid with active noise reduction and dual-microphone directionality. *Audiology*, 39(5), 260-268.
- Bregman, A. S.** (1990). *Auditory scene analysis* (Vol. 10). Cambridge, MA: MIT Press.
- Brungart, D. S.** (2001). Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109(3), 1101-1109.
- Brungart, D. S., Simpson, B. D., Ericson, M. A. y Scott, K. R.** (2001). Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(5), 2527-2538.
- Carhart, R., Tillman, T. W. y Greetis, E. S.** (1969). Perceptual masking in multiple sound backgrounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 45(3), 694-703.
- Ching, T. Y., O'Brien, A., Dillon, H., Chalupper, J., Hartley, L., Hartley, D., . . . Hain, J.** (2009). Directional effects on infants and young children in real life: Implications for amplification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(5), 1241-1254.
- Corbin, N. E., Bonino, A. Y., Buss, E. y Leibold, L. J.** (2016). Development of open-set word recognition in children: Speech-shaped noise and two-talker speech maskers. *Ear and Hearing*, 37(1), 55-63.
- Cord, M. T., Surr, R. K., Walden, B. E. y Dyrlund, O.** (2004). Relationship between laboratory measures of directional advantage and everyday success with directional microphone hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(5), 353-364.
- Crandell, C. y Smaldino, J.** (2000a). Classroom acoustics and amplification. En M. Valente, R. Roeser y H. HosfordDunn (Eds.), *Audiology: Vol. II. Treatment* (pág. 382-410). New York: Thieme Medical Publishers.
- Crandell, C. y Smaldino, J.** (2000b). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31(4), 362-370.
- Crukley, J. y Scollie, S. D.** (2014). The effects of digital signal processing features on children's speech recognition and loudness perception. *American Journal of Audiology*, 23(1), 99-115.
- Crukley, J., Scollie, S. D. y Parsa, V.** (2011). An exploration of non-quiet listening at school. *Journal of Educational Audiology*, 17, 23-35.
- Fabry, D. A.** (1994). Noise reduction with FM systems in FM/EM mode. *Ear and Hearing*, 15(1), 82-86.
- Fabry, D. A. y Tchorz, J.** (2005). Results from a new hearing aid using "acoustic scene analysis." *The Hearing Journal*, 58(4), 30-36.
- Finitzo-Hieber, T. y Tillman, T.** (1978). Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination

## Marzo-Abril 2020 - número 2

ability for normal and hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21(3), 440-458.

**Fletcher, H.** (1940). Auditory patterns. *Reviews of Modern Physics*, 12(1), 47-65.

**Freyman, R. L., Balakrishnan, U. y Helfer, K. S.** (2004). Effect of number of masking talkers and auditory priming on informational masking in speech recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(5), 2246-2256.

**Gatehouse, S., Stephens, S. D. G., Davis, A. C. y Bamford, J. M.** (2001). *Good practice guidance for adult hearing aid fittings and services*. BAAS Newsletter, 36.

**Gravel, J. S., Fausel, N., Liskow, C. y Chobot, J.** (1999). Children's speech recognition in noise using omni-directional and dual-microphone hearing aid technology. *Ear and Hearing*, 20(1), 1-11.

**Hawkins, D. B.** (1984). Comparisons of speech recognition in noise by mildly-to-moderately hearing-impaired children using hearing aids and FM systems. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 49(4), 409-418.

**Hawkins, D. B. y Yacullo, W. S.** (1984). Signal-to-noise ratio advantage of binaural hearing aids and directional microphones under different levels of reverberation. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 49(3), 278-286.

**Hornsby, B. W. y Ricketts, T. A.** (2007). Directional benefit in the presence of speech and speechlike maskers. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(1), 5-16.

**Jensen, J. y Pedersen, M. S.** (2015, abril). *Analysis of beamformer directed single-channel noise reduction system for hearing aid applications*. Documento presentado en la IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Brisbane, Australia, pág. 5728-5732.

**Johnson, E. E.** (2008). Evidence-based hearing aid dispensing. *Audiology Today*, 20(3), 34-36.

**King, A. M.** (2010). The national protocol for paediatric amplification in Australia. *International Journal of Audiology*, 49(Supl. 1), 64-69.

**Kjems, U. y Jensen, J.** (2012). *Maximum likelihood based noise covariance matrix estimation for multi-microphone speech enhancement*. Documento presentado en la European Signal Processing Conference, Bucharest, Rumanía, pág. 295-299.

**Klatte, M., Bergström, K. y Lachmann, T.** (2013). Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in Psychology*, 30(4), 578.

**Kuk, F. K., Keenan, D., Lau, C. C. y Ludvigsen, C.** (2005). Performance of a fully adaptive directional microphone to signals presented from various azimuths. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(6), 333-347.

**Kuk, F. K., Kollofski, C., Brown, S., Melum, A. y Rosenthal, A.**(1999). Use of a digital hearing aid with

## Marzo-Abril 2020 - número 2

directional micro-phones in school-aged children. *Journal of the American Academy of Audiology*, 10(10), 535-548.

**Lee, L., Lau, C. y Sullivan, D.** (1998). The advantage of a low compression threshold in directional microphones. *Hearing Review*, 5(8), 30-32.

**Leeuw, A. R. y Dreschler, W. A.** (1991). Advantages of directional hearing aid microphones related to room acoustics. *Audiology*, 30(6), 330-344.

**Le Goff, N., Jensen, J., Pedersen, M. S. y Callaway, S. L.** (2016). *An introduction to OpenSound Navigator™* (Libro blanco). Somerset, NJ: Oticon Incorporated. Consultado en <https://www.oticon.com/-/media/oticon-us/main/download-center/white-papers/15555-9950—opnsound-navigator.pdf>

**Leibold, L. J., Hillock-Dunn, A., Duncan, N., Roush, P. A. y Buss, E.** (2013). Influence of hearing loss on children's identification of spondee words in a speech-shaped noise or a two-talker masker. *Ear and Hearing*, 34(5), 575-584.

**Levitt, H. C. C. H.** (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49(2B), 467-477.

**Lewis, M. S., Crandell, C. C., Valente, M. y Horn, J. E.** (2004). Speech perception in noise: Directional microphones versus frequency modulation (FM) systems. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(6), 426-439.

**McCreery, R. W., Venediktov, R. A., Coleman, J. J. y Leech, H. M.** (2012). An evidence-based systematic review of directional microphones and digital noise reduction hearing aids in school-age children with hearing loss. *American Journal of Audiology*, 21(2), 295-312.

**Mueller, H. G., Weber, J. y Hornsby, B. W.** (2006). The effects of digital noise reduction on the acceptance of background noise. *Trends in Amplification*, 10(2), 83-93.

**Olson, L., Ioannou, M. y Trine, T. D.** (2004). Appraising an automatically switching directional system in the real world. *The Hearing Journal*, 57(6), 32-34.

**Peeters, H., Kuk, F., Lau, C. C. y Keenan, D.** (2009). Subjective and objective evaluation of noise management algorithms. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20(2), 89-98.

**Pittman, A.** (2011a). Age-related benefits of digital noise reduction for short-term word learning in children with hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(5), 1448-1463.

**Pittman, A.** (2011b). Children's performance in complex listening conditions: Effects of hearing loss and digital noise reduction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(4), 1224-1239.

**Polonenko, M. J., Scollie, S. D., Moodie, S., Seewald, R. C., Lurnagaray, D., Shantz, J. y Richards, A.** (2010). Fit to targets, preferred listening levels, and self-reported outcomes for the DSL v5.

## Marzo-Abril 2020 - número 2

0a hearing aid prescription for adults. *International Journal of Audiology*, 49(8), 550-560.

**Ricketts, T. A. y Galster, J.** (2008). Head angle and elevation in classroom environments: Implications for amplification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(2), 516-525.

**Ricketts, T. A., Galster, J. y Tharpe, A. M.** (2007). Directional benefit in simulated classroom environments. *American Journal of Audiology*, 16(2), 130-144.

**Ricketts, T. A., Picou, E. M. y Galster, J.** (2017). Directional microphone hearing aids in school environments: Working toward optimization. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(1), 263-275.

**Scollie, S., Seewald, R., Cornelisse, L., Moodie, S., Bagatto, M., Lurnagaray, D. y Pumford, J.** (2005). The desired sensation level multistage input/output algorithm. *Trends in Amplification*, 9(4), 159-197.

**Stelmachowicz, P., Lewis, D., Hoover, B., Nishi, K., McCreery, R. y Woods, W.** (2010). Effects of digital noise reduction on speech perception for children with hearing loss. *Ear and Hearing*, 31(3), 345-355.

**Summers, V., Grant, K. W., Walden, B. E., Cord, M. T., Surr, R. K. y Elhilali, M.** (2008). Evaluation of a "direct-comparison" approach to automatic switching in omnidirectional/directional hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19(9), 708-720.

**Valente, M., Fabry, D. y Potts, L. G.** (1995). Recognition of speech in noise with hearing aids using dual microphones. *Journal of the American Academy of Audiology*, 6(6), 440-449.

**van de Weijer, J.** (1998). *Language input for word discovery* (Tesis doctoral sin publicar). University of Nijmegen, Nijmegen, Países Bajos.

**Walden, B. E., Surr, R. K., Cord, M. T. y Dyrland, O.** (2004). Predicting hearing aid microphone preference in everyday listening. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(5), 365-396.

**Wolfe, J., Duke, M., Schafer, E., Jones, C. y Rakita, L.** (2017). Evaluation of adaptive noise management technologies for school-age children with hearing loss. *Journal of the American Academy of Audiology*, 28(5), 415-435.

Traducido con autorización del artículo "Efectos de la direccionalidad de audífono adaptable y la reducción del ruido en el reconocimiento del habla enmascarada en niños con hipoacusia", por Jenna M. Browning, Emily Buss, Mary Flaherty, Tim Vallier y Lori J. Leibold (*American Journal of Audiology*, vol. 28, 101-113, Marzo 2019, <http://aja.pubs.asha.org/journal.aspx>). Este material ha sido originalmente desarrollado y es propiedad de la American Speech-Language-Hearing Association, Rockville, MD, U.S.A., [www.asha.org](http://www.asha.org). Todos los derechos reservados. La calidad y precisión de la traducción es únicamente responsabilidad de AG BELL INTERNATIONAL.

La American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) no justifica o garantiza la precisión, la totalidad,

## Marzo-Abril 2020 - número 2

la disponibilidad, el uso comercial, la adecuación a un objetivo particular o que no se infringe el contenido de este artículo y renuncia a cualquier responsabilidad directa o indirecta, especial, incidental, punitiva o daños consecuentes que puedan surgir del uso o de la imposibilidad de usar el contenido de este artículo.

Translated, with permission, from “Effects of Adaptive Hearing Aid Directionality and Noise Reduction on Masked Speech Recognition for Children who are Hard of Hearing”, by Jenna M. Browning, Emily Buss, Mary Flaherty, Tim Vallier and Lori J. Leibold (American Journal of Audiology, vol. 28, 101-113, March 2019, <http://aja.pubs.asha.org/journal.aspx>). This material was originally developed and is copyrighted by the American Speech-Language-Hearing Association, Rockville, MD, U.S.A., [www.asha.org](http://www.asha.org). All rights are reserved. Accuracy and appropriateness of the translation are the sole responsibility of AG BELL INTERNATIONAL.

The American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) does not warrant or guarantee the accuracy, completeness, availability, merchantability, fitness for a particular purpose, or noninfringement of the content of this article and disclaims responsibility for any damages arising out of its use. Description of or reference to products or publications in this article, neither constitutes nor implies a guarantee, endorsement, or support of claims made of that product, publication, or service. In no event shall ASHA be liable for any indirect, special, incidental, punitive, or consequential damages arising out of the use of or the inability to use the article content.

### Preguntas sobre la compensación de los oídos

Abby Malawer

Clínica en ENT and Allergy Associates, LLP, Nueva York.

Es posible que los viajeros con dolor de oídos se pregunten si es seguro volar. A continuación, se facilita la manera en que los audiólogos les podemos ayudar a tomar la decisión correcta.

Eileen\* acude a nuestro consultorio de otorrinolaringología a última hora de una tarde de invierno quejándose de dolor de oídos y síntomas similares a los de un resfriado: dolor de cabeza, tos, estornudos y congestión. Me cuenta que siente congestión en los oídos y como si oyese estando bajo el agua. También comenta que nota mareos y acúfenos intermitentes. El otorrinolaringólogo me derivó la paciente para que evaluase el impacto en su audición como audióloga. En sus notas, indica que en su examen detectó signos de una sinusitis bacteriana. Para tratarla, será necesario utilizar antibióticos y posiblemente esteroides graduables si la infección no desaparece.

Sentada en la consulta, la paciente me informa de que tiene que realizar un vuelo de largo recorrido al día siguiente por la mañana, con el regreso al día siguiente. “¿Perjudicará volar a mi audición si ya siento tanta congestión y dolor?”, pregunta.

Esta pregunta me la plantean al menos una vez al día los pacientes de nuestro concurrido consultorio de otorrinolaringología en el Upper East Side de Manhattan. Si bien durante la mayor parte del día me dedico a examinar la audición de los pacientes y adaptar audífonos (hasta 30 pacientes al día), me sorprende la frecuencia con la que me plantean preguntas sobre dolor de oídos y problemas relacionados con los viajes

## Marzo-Abril 2020 - número 2

en avión.

En lo que se refiere a los vuelos, los pacientes pueden controlar los síntomas leves de un resfriado, como una nariz taponada, con descongestionantes de venta sin receta. Los síntomas suelen remitir en un breve periodo de tiempo. Sin embargo, una infección bacteriana prolongada y la inflamación de los senos paranasales pueden ser más preocupantes, especialmente si, como en el caso de Eileen, se acompañan de dolor de oídos y vuelos inminentes.

En el caso de muchos pacientes, puede resultar complicado modificar los planes de viaje existentes debido a la enfermedad, por lo que es importante que les informemos sobre lo que deben hacer si experimentan un traumatismo y los síntomas persisten después de volar. Además, debemos reconocer cuándo los síntomas de los pacientes requieren la derivación a un médico para que reciban un tratamiento o un asesoramiento más específico. Mi objetivo es ayudar a los audiólogos a que puedan adoptar estas decisiones mediante la descripción de: cómo se modifica el tímpano durante el vuelo, cómo los pacientes pueden minimizar las molestias, y cuándo y por qué volar estando enfermo puede ser un motivo de preocupación.

### **Presión del aire y compensación de los oídos**

Los cambios extremos en la presión del aire que tienen lugar en la cabina del avión durante el ascenso y el descenso afectan el funcionamiento de la trompa de Eustaquio, situada en el oído medio, cerca de la parte posterior de la nariz. La trompa es un músculo que se contrae regularmente para permitir que la presión se compense en el espacio de la nariz y el oído medio (véanse las referencias bibliográficas). Podemos forzar manualmente la apertura de la trompa masticando, bostezando, tragando o tapando las fosas nasales y exhalando suavemente hasta que los oídos se “abran”.

Sin embargo, un adulto con un resfriado o una congestión nasal puede presentar una inflamación del tejido, lo que impediría la apertura normal de la trompa y la compensación de la presión al volar. El sonido se conduce desde el oído externo, a través del oído medio, para su procesamiento en la cóclea, situada en el oído interno. Si existe algún problema en la conducción del sonido a través del espacio del oído medio y la trompa de Eustaquio, la capacidad auditiva se reduce temporalmente.

A medida que el avión asciende tras el despegue, la presión del aire en la cabina disminuye, lo que tiene sentido ya que sabemos que el aire se vuelve menos denso a medida que aumenta la altitud (véanse las referencias bibliográficas). Al disminuir la presión del aire, aumenta la presión positiva detrás del tímpano. A continuación, la trompa de Eustaquio libera o “compensa” esta presión positiva a través de un proceso de apertura natural. Una vez que el avión alcanza la altitud de crucero, nuestros oídos suelen recuperar la normalidad (véanse las referencias bibliográficas).

Cuando el avión desciende, es más probable que sintamos efectos molestos en los oídos: presión o taponamiento. Esto sucede porque, a medida que aumenta la presión del aire en la cabina, se acumula presión negativa detrás del tímpano. La presión negativa es más molesta que la presión positiva, porque succiona y cierra la trompa de Eustaquio.

Es posible que un paciente que padezca dolor de oídos y viaje en avión, experimente posteriormente



## Marzo-Abril 2020 - número 2

barotitis: sensación de taponamiento o dolor, con una posible reducción de la audición, pero sin alteración física ni daño en el tímpano. El barotrauma, por otro lado, incluye los síntomas anteriores, además de desequilibrio y un posible hematoma o perforación del tímpano (véanse las referencias bibliográficas).

Como profesional de la salud auditiva, considero que es mi responsabilidad no solo asesorar a los pacientes que atiendo, sino responder también adecuadamente a las preguntas de amigos y familiares relacionadas con el oído. Los médicos deben plantear preguntas apropiadas sobre la historia clínica para evaluar la gravedad de los síntomas y aconsejar a los pacientes si deben limitarse a superar las molestias leves o solicitar asistencia profesional.

### Preguntas sobre los viajes en avión

Una vez que haya descrito a los pacientes los fundamentos de la función de la trompa de Eustaquio y el mecanismo del vuelo, es probable que deseen hacerle algunas preguntas. A continuación, expongo algunos ejemplos de preguntas de seguimiento que normalmente se me plantean y la manera en que las respondo:

#### ¿Cómo puedo minimizar el dolor de oídos o las molestias si tengo que volar?

Puede utilizar tapones antipresión EarPlanes. Estos tapones de oídos de regulación de la presión, desechables y de silicona, fabricados por Cirrus Healthcare Products LLC (en España fabricados por Quiés), atenúan hasta 20 decibelios y ayudan a compensar la presión de aire en los oídos (se pueden comprar en cualquier farmacia). Colóquese los EarPlanes 40 minutos antes del descenso y justo antes del ascenso, en caso necesario. Insértelos correctamente tirando del lóbulo de la oreja hacia arriba y hacia atrás.

También puede utilizar un descongestionante y un aerosol nasal una hora antes del ascenso, y 30 minutos antes del aterrizaje si el vuelo dura más de cuatro horas. No obstante, un aspecto negativo del uso de descongestionantes es que pueden provocar que el paciente sea más propenso a dormirse durante el vuelo, lo que significa una reducción de la deglución. La deglución abre automáticamente la trompa de Eustaquio, estimulando el proceso natural de compensación de la presión del aire en el oído medio (véanse las referencias bibliográficas).

#### ¿Cómo sé que tengo una disfunción de la trompa de Eustaquio después de volar?

Los síntomas de la disfunción de la trompa de Eustaquio se pueden manifestar de muchas maneras: dolor de oídos, taponamiento o audición amortiguada (disminuida). Esta disfunción puede provocar una acumulación de líquido en el espacio del oído medio, si no se trata. La acumulación puede causar una pérdida auditiva conductiva: una disminución temporal de la audición, generalmente en los tonos más bajos, sin ningún daño permanente en la cóclea ni en el nervio auditivo. Cuando se presenta una pérdida auditiva conductiva, el sonido debe tener un volumen más alto de lo normal para conducir a través del espacio del oído medio lleno de líquido, y se puede notar una disminución de la audición. En la mayoría de los casos, una pérdida auditiva conductiva se puede tratar con antibióticos y esteroides, o mediante la inserción de un pequeño tubo ecualizador de presión para drenar el líquido.

#### Entonces, ¿debo volar o no estando enfermo?

## Marzo-Abril 2020 - número 2

Si experimenta dolor de oídos, intente reprogramar su vuelo y espere unos días para comprobar si los síntomas remiten. Si debe volar con dolor de oídos y no puede ecualizar manualmente (o “compensar”) la presión en los oídos 48 horas después del aterrizaje, debe reservar una cita con un médico de atención primaria o un otorrinolaringólogo. La espera y la automedicación con descongestionantes no es suficiente si existen signos de barotitis o barotrauma en el tímpano.

Entre los síntomas graves se incluyen hemorragia en el oído, dolor, desequilibrio, vértigo, pérdida auditiva y acúfenos (véanse las referencias bibliográficas). No obstante, si únicamente tiene los oídos taponados, el riesgo de daño del tímpano es mínimo y podrá volar. ¡Buen viaje!

*Nota al pie:* \*Es un seudónimo para proteger la identidad de la paciente.

### Bibliografía

**Alberti, P.** (2001). *The anatomy and physiology of the ear and hearing*. En Goelzer G., Hansen C. H., & Sehrndt G. A. (Eds.) Occupational exposure to noise: Evaluation, prevention and control. Organización Mundial de la Salud. Disponible en [https://www.who.int/occupational\\_health/publications/noise2.pdf?ua=1](https://www.who.int/occupational_health/publications/noise2.pdf?ua=1).

**Israëls, J., Nagelkerke, A. F., Markhorst, D. G. y van Heerede, M.** (2018). Fitness to fly in the paediatric population, how to assess and advice. *European Journal of Pediatrics*, 177(5), 633-639.

**Wright, T.** (2015). *Middle-ear pain and trauma during air travel*. *BMJ Clinical Evidence*, 2015, 0501.

Este artículo se publicó en THE ASHA LEADER en Enero 2019, vol. 24.