



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



## Eficiencia de audífonos y otros dispositivos inteligentes en pacientes con hipoacusia oculta

Joaquín T. Valderrama<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, Universidad de Granada, España

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Granada, España

<sup>3</sup> Department of Linguistics, Macquarie University, Australia

<sup>4</sup> National Acoustic Laboratories, Australia

[jvalderrama@ugr.es](mailto:jvalderrama@ugr.es)

- Existe un grupo de pacientes que se presentan en la clínica con problemas de audición, especialmente en entornos ruidosos como cafeterías o restaurantes, pero cuyas audiometrías se encuentran dentro de rangos normales.
- Estas dificultades auditivas se las conoce como ‘*hipoacusia oculta*’ porque existe una pérdida de audición que se oculta bajo audiogramas normales.
- La hipoacusia oculta puede afectar de manera significativa a la calidad de vida de estas personas.

## En sus propias palabras



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

Creo que **otras personas deben de ser capaces de filtrar el ruido de fondo** y reducirlo a un nivel más bajo para poder concentrarse en la conversación, así que debo de tener un problema porque yo no puedo hacerlo.

**Tengo que esforzarme más** para escuchar. No siempre puedo oír de qué me están hablando o qué preguntas me hacen. Requiere mucha concentración.

**Creo que la gente piensa que soy maleducado** porque a veces asientes y sonríes en el momento equivocado, ya que no estás siguiendo lo que está pasando.

Simplemente **hace que no me apetezca salir**, y cuando salgo tiendo a evitar los restaurantes, las cafeterías y cualquier lugar en el que probablemente haya mucha gente.



Estudio 1. Audífonos con baja ganancia  
*Phonak M50*

Estudio 2. Dispositivo inteligente  
*Apple AirPods Pro*



- Testimonios obtenidos directamente de estos pacientes reflejan la naturaleza y el impacto de estas dificultades en sus vidas.
- Por ejemplo: *Testimonios*.
- Actualmente se está destinando un enorme esfuerzo en comprender las causas de estas dificultades auditivas, así como en desarrollar intervenciones terapéuticas que prevengan, ralenticen o incluso reviertan estos efectos.
- Sin embargo, estos esfuerzos pueden tardar años en dar frutos, y las personas que sufren estas dificultades auditivas necesitan ayuda ahora.
- ¿Qué podemos hacer para ayudarles?
- Hoy os voy a presentar los principales resultados de dos estudios que llevamos a cabo en los National Acoustic Laboratories (NAL), en los que evaluamos la medida en la que audífonos con poca ganancia y los AirPods Pro de Apple puedan ayudar a estas personas.

# Estudio 1 – Audífonos



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Un ensayo clínico aleatorizado y doble ciego



Comienzo

Fin



• Audífonos

• SADL  
• Cuestionario abierto

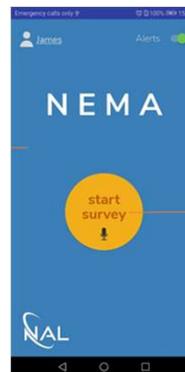
Control

Experimental



- 14 participantes
- 9 mujeres
- [19,63] años
- Media = 40.8 años
- Ganancia = 0 dB

- 13 participantes
- 8 mujeres
- [31,68] años
- Media = 44.8 años
- Ganancia = +8 dB



Encuesta NEMA

- Comprensión
- Frustración
- Participación
- Estado de ánimo



- En el primer estudio reclutamos 27 participantes con problemas de inteligibilidad en entornos ruidosos y audiogramas normales.
- Diseñamos un ensayo clínico aleatorizado y doble ciego, en el que dividimos los participantes de manera aleatoria en:
  - Un grupo *control*, en el que les dimos audífonos “transparentes”, que simplemente dejaban pasar el sonido sin amplificación ni direccionalidad.
  - Y un grupo *experimental*, en el que los audífonos presentaban 8 dB de ganancia y amplificación direccional, de manera que predominase el sonido que provenga de en frente del participante, proporcionando así una ventaja acústica.
- La primera fase consistió en 6 semanas en las que los participantes atendieron lugares donde generalmente experimentan dificultades auditivas, y utilizaron una aplicación móvil (NEMA: NAL Ecological Momentary Assessment) para completar una breve encuesta sobre (1) su nivel de

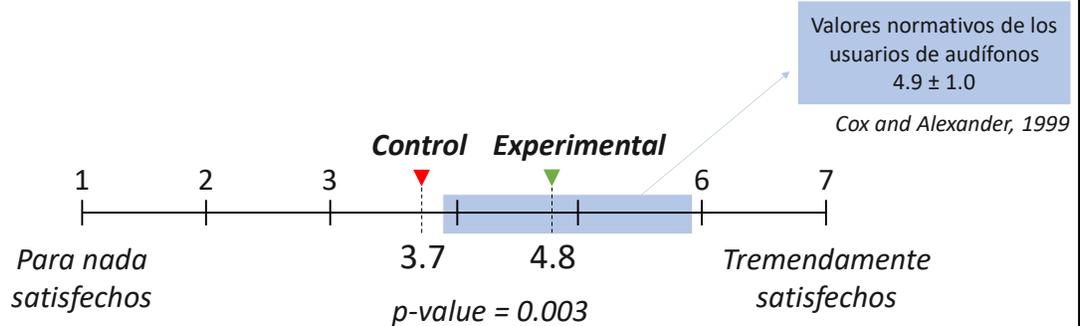
comprensión, (2) su frustración, (3) su nivel de participación en conversaciones, y (4) su estado de ánimo.

- Pasadas las 6 semanas, se les adaptó un audífono con las características según el grupo en el que estuvieran, y se les pidió que de nuevo atendieran eventos ruidosos y evaluaran su audición mediante la aplicación NEMA.
- Al finalizar esta segunda fase, los participantes completaron un cuestionario estandarizado SADL (Satisfaction with Amplification in Daily Life) sobre satisfacción y respondieron a una serie de preguntas de respuesta abierta.

## Satisfacción con audífonos (SADL)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



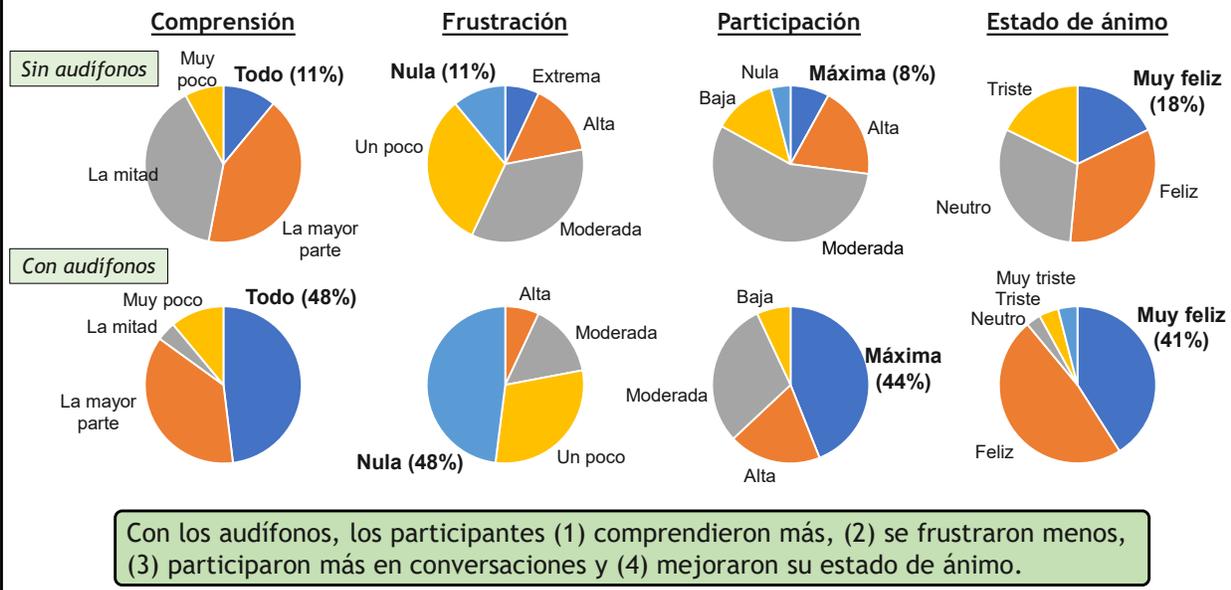
Ofrecer una ganancia leve incrementa la satisfacción global, pasando de 'satisfacción media' a 'satisfacción considerable'

- La escala del cuestionario SADL va de 1 a 7, siendo 1 la mínima satisfacción y 7 la máxima.
- Cox y Alexander proporcionan valores esperados en torno a  $4.9 \pm 1$  punto.
- Los resultados mostraron que, en promedio, el grupo experimental reportó una satisfacción general muy similar a los valores esperados.
- Sin embargo, los que utilizaron audífonos “placebo” reportaron una satisfacción estadísticamente inferior, por debajo de los valores esperados.

## Evaluación en la vida real (NEMA)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



- Las encuestas realizadas *in situ* mostraron resultados interesantes.
  - El porcentaje de participantes comprendiendo toda la conversación aumentó del 11% al 48% al llevar audífonos.
  - Los que reportaron una frustración nula pasó del 11% al 48%.
  - La participación máxima en conversaciones también pasó del 8% al 44% con los audífonos.
  - Y participantes sintiéndose muy felices pasó del 18% al 41%.

## ¿Continuarías utilizando los audífonos?



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

Control: 9/14 NO  
Experimental: 8/11 SÍ

**No.** El beneficio no es perceptible, en relación con la leve carga administrativa (como la gestión de baterías, etc.).

**No.** Realmente no ayudan.

**No.**

**No,** no siento que haya sido un cambio significativo.



*Control*

Los usaría en **entornos específicos** que requieran mucha atención, ya que esto ayudaría a reducir la fatiga y la frustración.

**Sí,** porque parece que han mejorado mi condición.

**Sí,** el beneficio que obtengo es demasiado grande como para no usarlos.

**Sí** los usaría en situaciones sociales. Facilitan participar en conversaciones.



*Experimental*

**No,** porque **no creo necesitarlos en esta etapa** y son algo incómodos (me pican un poco, hacen cosquillas y dificultan cambiarme las gafas, especialmente si llevo pendientes). No me gusta oírme al comer.

- Al preguntarles si continuarían utilizando audífonos:
  - La mayor parte del *grupo control* reportó que no debido a un beneficio imperceptible. Este resultado era de esperar debido a la transparencia acústica de los audífonos.
  - Por otro lado, la mayor parte en el grupo experimental (8/11, *nota*: sólo 11 participantes completaron este cuestionario) reportó que continuaría utilizándolos.

## ¿Comprarías los audífonos?



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

Control: 14/14 NO  
Experimental: 11/11 NO

**No en esta etapa**, ya que es demasiado caro, pero lo haría si mi audición afectara mi trabajo.

No



No. No siento ninguna mejora.

Control

Por el coste de \$5000, personalmente **no invertiría en audífonos**, ya que considero que mi audición sin ayuda funciona bien, aunque a veces me cueste entender el habla con claridad en sitios ruidosos.

No. ¡Es muchísimo dinero!

No por ese precio.



Experimental

- Sin embargo, cuando les preguntamos si comprarían los audífonos por AUD 5,000 todos los participantes reportaron que no por ese precio.

## Estudio 2 – Apple AirPods Pro



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



- 17 participants
- 21-59 years
- 9 females

Medidas en la  
vida real



### Características iOS 15

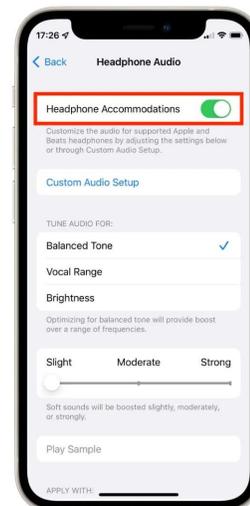
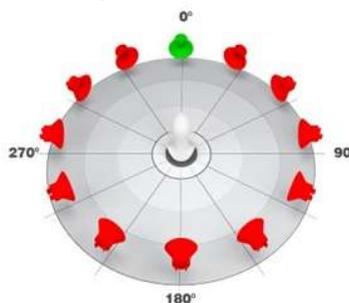
- Headphone Accommodations
- Audiogramas personalizados
- Conversation Boost ON
- Ambient Noise Reduction MAX



Satisfacción SADL



Comprensión en ruido

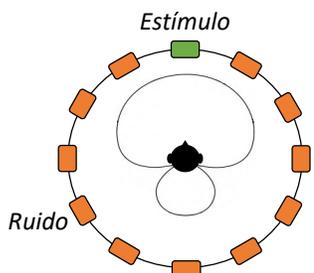


- Motivados por este resultado, evaluamos el valor de una tecnología más económica: Los AirPods Pro de Apple.
- En este estudio participaron 17 personas con el mismo perfil audiológico: problemas de audición en ruido y audiogramas normales.
- Configuramos los AirPods Pro con la característica ‘*Headphones Accommodations*’ que permite funcionalidades orientadas a mejorar la comprensión en ruido, como (1) ‘*Conversation Boost*’ que proporciona direccionalidad y (2) ‘*Ambient Noise Reduction*’ que atenúa ruido de fondo.
- Los participantes realizaron un test de comprensión en ruido en el laboratorio y probaron la tecnología en los ambientes donde experimentan dificultades auditivas (cafeterías, restaurantes, centros comerciales...), donde evaluaron su eficacia mediante el cuestionario NEMA.
- Al final del estudio, completaron el cuestionario SADL.

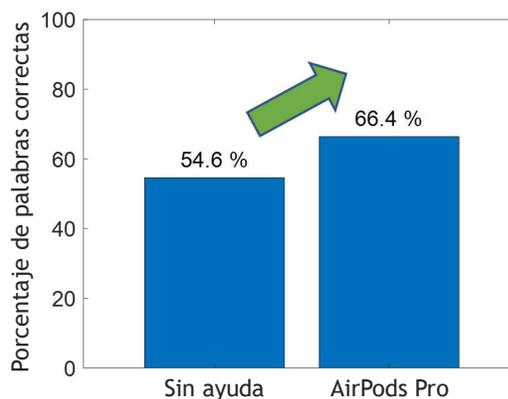
## Comprensión en ruido



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



- 16 altavoces en un diámetro de 2.7 m
- Estímulo: BEST test (Best et al. 2014, 2018)
- Ruido: Babble noise, 65 dB SPL
- SNR fijado a una inteligibilidad del 50%



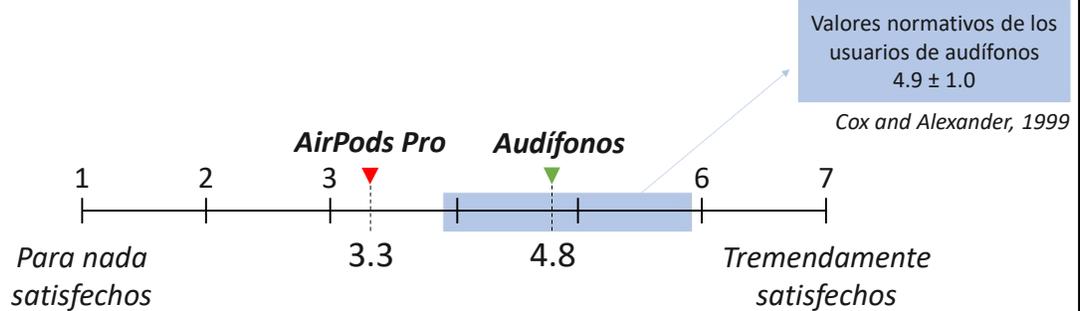
Los AirPods Pro proporcionan un 11% de mejora en comprensión en ruido.

- La prueba de comprensión en ruido consistió en el test BEST, en el que se presentan frases por el altavoz frontal, y ruido babble por el resto de altavoces a una SNR correspondiente a 50% de inteligibilidad.
- En comparación al escenario sin ayuda, los AirPods Pro incrementaron un 11% la comprensión en ruido.

## Satisfacción general (SADL)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



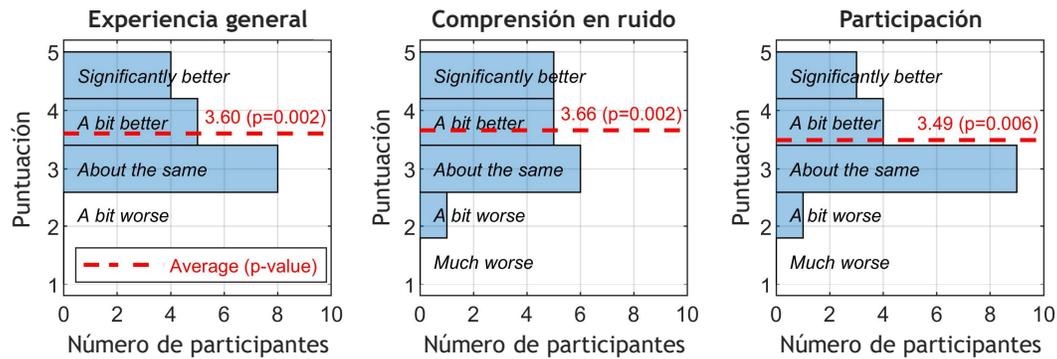
La satisfacción con los AirPods Pro fue inferior a la de los audífonos

- ¿Cómo de satisfechos estuvieron los participantes con la tecnología?
- En comparación con la evaluación que recibieron los audífonos, los AirPods Pro fueron evaluados con un grado inferior de satisfacción.

## Medidas en la vida real (NEMA)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



- Los resultados de las evaluaciones *in situ* a partir de las encuestas NEMA indican que los participantes con los AirPods Pro:
  - Tuvieron una experiencia general ligeramente mejor,
  - Comprendieron un poco mejor con los AirPods Pro que sin ellos, y
  - Participaron un poco más en conversaciones.

## ¿En qué medida mejora tu audición?



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

7/17 (41%) – No mucho



**Hay cierta mejora, pero es mínima.**  
Cuando hace viento (por ejemplo al aire libre), los AirPods Pro en realidad amplifican el ruido del viento y afectan negativamente las conversaciones.



**Mi experiencia fue inconsistente.**

En situaciones uno a uno funcionaron mejor que en reuniones de grupo.

7/17 (41%) – Depende del sitio



Podía escuchar las voces con mucha más claridad tanto a corta como a cierta distancia. **Me sentí más involucrado en las conversaciones porque podía oír mejor.** La capacidad de escuchar a las personas en la mesa durante la cena en un restaurante ruidoso es probablemente lo más beneficioso.

3/17 (18%) – Experiencia positiva

- Cuando les preguntamos en qué medida mejoran los AirPods Pro su audición, de 17 participantes, 7 dijeron que ‘no mucho’, 7 que depende del sitio, y 3 que su experiencia fue positiva.
- Estos testimonios fueron obtenidos directamente de los participantes, reflejando su percepción.

## ¿Los continuarías utilizando?



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

En mi caso, **seguiría usando los AirPods con mi familia y amigos en entornos grupales**, y también con compañeros de trabajo que conocen el motivo por el que los uso. Explicar ese motivo sería complicado para mí en la mayoría de los otros contextos, especialmente con personas con las que no tengo una relación directa.

5/17 (30%) – Sí



### Barreras

- Beneficio insuficiente
- Confort
- Estigma social

No me sentí avergonzado al usarlos, pero **algunas personas me preguntaron sobre ellos y por qué los llevaba puestos**. Durante la prueba fue fácil explicar que se trataba de un estudio científico, pero esto podría volverse molesto en un uso a largo plazo. Es posible que otras personas percibieran que estaba escuchando música o haciendo otras cosas mientras estaba en grupo o en una conversación. Además, **no creo que la corrección auditiva funcionara tan bien al aire libre**, en una zona algo ruidosa como una playa con mucho ruido ambiental.

No los usaría en conversaciones. **Las personas piensan que las estás ignorando si te ven usándolos**, y el impacto en la calidad de la conversación no es significativo.



12/17 (70%) – No

- Finalmente les preguntamos si seguirían utilizando la tecnología.
- Ante esta pregunta, sólo el 30% respondió que sí, mientras que la mayoría dijo que no.
- Las principales razones fueron (1) un beneficio insuficiente, (2) incomodidad y (3) estigma social.
- Los siguientes testimonios exponen estos argumentos en su contexto.

# Referencias



UNIVERSIDAD DE GRANADA

**Hearing Aids Reduce Self-Perceived Difficulties in Noise for Listeners With Normal Audiograms**  
Kiri Mealings,<sup>1,2,6</sup> Joaquín T. Valderrama,<sup>1,4,8</sup> Jorge Mejía,<sup>2,5</sup> Ingrid Yeend,<sup>1,2</sup> Elizabeth F. Beach,<sup>7</sup> and Brent Edwards<sup>2</sup>

**Objectives:** This study assessed hearing aid benefits for people with a normal audiogram but hearing-in-noise problems in everyday listening situations.

**Design:** Exploratory double-blinded case-control study whereby participants completed retrospective questionnaires, ecological momentary assessments, speech-in-noise testing, and mental effort testing with and without hearing aids. Twenty-seven adults reporting speech-in-noise problems but normal air conduction pure-tone audiometry took part in the study. They were randomly separated into an experimental group that trialed mid-gain hearing aids with advanced directional processing and a control group fitted with hearing aids with no gain or directionality.

**Results:** Self-reports showed mid-gain hearing aids reduce hearing-in-noise difficulties and provide a better hearing experience (i.e., improved understanding, participation, and mood). Despite the self-reported benefits, the laboratory tests did not reveal a benefit from the mid-gain hearing aids, with no group differences on speech-in-noise tests or mental effort measures. Further, participants found the elevated cost of hearing aids to be a barrier for their adoption.

**Conclusions:** Hearing aids benefit the listening experience in some listening situations for people with normal audiogram who report hearing difficulties in noise. Decreasing the price of hearing aids may lead to greater accessibility to those seeking remediation for their communication needs.

**Key words:** Ecological momentary assessment, Hearing aids, Hidden hearing loss, Reaction time, Self-report, Speech-in-noise hearing difficulties.

(*Ear & Hearing* 2024;45:151–163)

INTERNATIONAL JOURNAL OF AUDIOLOGY  
2024, VOL. 63, NO. 6, 447–457  
https://doi.org/10.1080/14992027.2023.2199442

ORIGINAL ARTICLE

**The value of headphone accommodations in Apple AirPods Pro for managing speech-in-noise hearing difficulties of individuals with normal audiograms**

Joaquín T. Valderrama<sup>a,b,c,d</sup>, Jorge Mejía<sup>a,b</sup>, Angela Wong<sup>e</sup>, Nicky Chong-White<sup>f,g</sup> and Brent Edwards<sup>h</sup>

<sup>a</sup>National Acoustic Laboratories, Sydney, Australia; <sup>b</sup>Department of Linguistics, Macquarie University, Sydney, Australia; <sup>c</sup>Department of Signal Theory, Telematics and Communications, University of Granada, Granada, Spain; <sup>d</sup>Research Centre for Information and Communications Technologies (CITIC-UGR), University of Granada, Granada, Spain; <sup>e</sup>School of Computing, Macquarie University, Sydney, Australia

**ABSTRACT**  
**Objective:** To investigate the extent to which Headphone Accommodations in Apple AirPods Pro attend to the hearing needs of individuals with normal audiograms who experience hearing difficulties in noisy environments.  
**Design:** Single-arm interventional study using acoustic measures, speech-in-noise laboratory testing, and real-world measures via questionnaires and ecological momentary assessment.  
**Study sample:** Seventeen normal-hearing individuals (9 female, 21–59 years) with self-reported hearing-in-noise difficulties.  
**Results:** Acoustic measures showed that, relative to unaided, AirPods Pro provided a SNR advantage of +5.4 dB. Speech intelligibility performance in laboratory testing increased 11.8% with AirPods Pro, relative to unaided. On average, participants trialling AirPods Pro in real-world noisy venues reported that their overall hearing experience was a bit better than without them. Five participants (29%) reported that they would continue using AirPods Pro in the future. The most relevant barriers that would discourage their future use were limited hearing benefit, discomfort, and stigma.  
**Conclusions:** Occasional use of AirPods Pro may help some individuals with normal audiograms ameliorate their speech-in-noise hearing difficulties. The identified barriers may inspire the development of new technological solutions aimed at providing an optimal management strategy for the hearing difficulties of this segment of the population.

**ARTICLE HISTORY**  
Received 23 May 2022  
Revised 16 March 2023  
Accepted 23 March 2023

**KEYWORDS**  
Hearables; Hidden hearing loss; over-the-counter hearing aids; listening effort; communication difficulties

Mealings K, Valderrama JT, Mejía J, Yeend I, Beach EF, Edwards B. Hearing aids reduce self-perceived difficulties in noise for listeners with normal audiograms. *Ear and Hearing* (2024) 45, 151-163. doi: [10.1097/AUD.0000000000001412](https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001412).

Valderrama JT, Mejía J, Wong A, Chong-White N, Edwards B. The value of headphone accommodations in Apple AirPods Pro for managing speech-in-noise hearing difficulties of individuals with normal audiograms. *International Journal of Audiology* (2024) 63, 447-457. doi: [10.1080/14992027.2023.2199442](https://doi.org/10.1080/14992027.2023.2199442).

- Los detalles de estos estudios pueden consultarse en las siguientes referencias.

### ¿Cómo podemos ayudar a pacientes con audiometrías normales?

- El uso de audífonos con +8 dB de ganancia favoreció la comprensión en entornos ruidosos, incrementó la participación en conversaciones y redujo la frustración.
- Los participantes continuarían utilizando audífonos en sitios ruidosos, pero su elevado coste es una barrera para su adopción.
- La prácticamente imperceptible ventaja acústica de los AirPods Pro (Gen-1), junto con su posible malinterpretación social los hacen una solución poco atractiva.
- Existe una clara necesidad de una tecnología efectiva, discreta y de bajo coste que favorezca la comunicación en entornos ruidosos para personas con hipoacusia oculta.



### Agradecimientos

- RYC2022-037875-I, financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y por el FSE+.
- CNS2024-154207, financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033.



Australian Government  
Department of Health  
and Aged Care