

Resultados preliminares del ambiente acústico enriquecido como terapia sonora personalizada del acúfeno

EAE como terapia sonora del acúfeno

Pedro Cobo * 1

¹ Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (ITEFI), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Serrano 144, 28006 Madrid, España

 OPEN ACCESS
PEER REVIEWED
INFORME DE INVESTIGACIÓN

Recibido: 15.07.2021
Revisado: 18.08.2021
Aceptado: 24.08.2021
Publicado: 13.10.2021

Edición

Helia Relaño-Iborra
Universidad Técnica de Dinamarca

Revisión

Patricia Vázquez-González
Fundación Vinjoy, España

Juan Manuel Espinosa-Sánchez
Universidad de Granada, España

María Teresa Heitzmann Hernández
Clínica Universidad de Navarra, España

Citar como

Cobo, P. (2021) Resultados preliminares del ambiente acústico enriquecido como terapia sonora personalizada del acúfeno: EAE como terapia sonora del acúfeno. *Auditio*, 5(3). <https://doi.org/10.51445/sja.auditio.vol5.2021.0073>

*Correspondencia

Pedro Cobo, ITEFI (CSIC), Serrano 144, 28006 Madrid, España
Teléfono: +34 91 5618806
pedro.cobo@csic.es

Resumen

El objetivo de este artículo es describir los fundamentos de una terapia sonora, el ambiente acústico enriquecido (EAE), para la estimulación selectiva de pacientes con acúfenos. El estímulo sonoro consiste en una secuencia de tonos, que pueden ser de tres tipos (pip, burst o gamma), de frecuencia aleatoria dentro de la banda de frecuencias audibles, cada uno de ellos con una amplitud directamente proporcional a la pérdida de audición del sujeto a esa frecuencia. Las secuencias de tonos pip y tonos burst ya han demostrado su eficacia en la restauración del mapa tonotópico de animales expuestos previamente a un ruido traumatizante y en el restablecimiento de la hipersensibilidad de un grupo de pacientes con hiperausia, respectivamente. Las secuencias de tonos gamma, cuyos fundamentos se describen en este artículo, constituyen una propuesta original. La sucesión de tonos resultante estimula secuencialmente el sistema auditivo del sujeto compensando su pérdida de audición, que es una de las causas que disparan el acúfeno.

Palabras clave

Acúfeno, terapia sonora, ambiente acústico enriquecido

Implicaciones clínicas

El artículo describe una terapia sonora personalizada para el acúfeno que puede aplicarse en la propia clínica del especialista. Para ello, se recibe al paciente en la clínica, se le miden las audiometrías de ambos oídos y se diseña el estímulo EAE estéreo, el cual se entrega al paciente en formato mp3 para que lo escuche una hora al día durante cuatro meses. Para el seguimiento, se requiere al paciente un THI mensual que puede rellenar en casa y enviar por correo electrónico.

1. Introducción

Algunas personas han percibido ocasionalmente un zumbido en los oídos que no viene del exterior del sistema auditivo y que puede estar asociado a alguna causa reversible, como la exposición a un ruido muy alto (concierto de música, fuegos artificiales) o una perturbación transitoria del oído (Eggermont, 2012). Sin embargo, en un porcentaje de la población, este ruido interior, una vez que se ha originado, no remite. La percepción de un sonido en ausencia de una fuente acústica externa se denomina acúfeno (*tinnitus*) y es más prevalente en la población mayor (12% en los mayores de 60 años) que en la más joven (5% entre 20 y 30 años; Baguley *et al.*, 2013). En el 1%-2% de la población, la gravedad del acúfeno es tal que afecta a la calidad de vida, produciendo molestia, problemas con el sueño, estrés, ansiedad o depresión. En los EE. UU., entre 25 y 52 millones de personas padecen de acúfenos (Jastreboff y Jastreboff, 2000), mientras que en Europa se estima que unos 5 millones experimentan un zumbido moderado o grave (Vio and Holmes, 2015). En España, el 17% de los pacientes de una consulta de ORL manifestaban este tipo de ruidos (Herráiz y Hernández Calvín, 2002), mientras que, en el 1% de pacientes, el acúfeno es altamente invalidante (López González, 2010).

Así pues, el acúfeno crónico (el que se percibe de una manera prolongada o continua durante más de tres meses) puede producir una reducción considerable de la calidad de vida de quien lo padece. Se ha demostrado que los daños producidos en el sistema auditivo periférico de un grupo de animales de laboratorio por la exposición a un ruido traumatizante daban lugar a cambios funcionales en su mapa tonotópico cortical (Noreña y Eggermont, 2005). La capacidad de cambio del sistema auditivo cortical y subcortical se denomina plasticidad auditiva. La sobreexposición a ruido, el envejecimiento, la infección del oído, la ototoxicidad y la enfermedad de Ménière, entre otros, producen pérdidas de audición (en inglés *hearing loss*; HL) periféricas que dan lugar a una desaferenciación del sistema auditivo central, lo que puede suponer un posible desencadenante de acúfenos.

La HL es reconocida como un factor de riesgo para el acúfeno (Tan *et al.*, 2013). Sin embargo, hay muchos individuos con HL que no sufren de acúfenos. En pacientes con HL neurosensorial la prevalencia del acúfeno es mayor, y su timbre es más alto (>3 kHz), que en aquellos con HL conductiva, en los cuales el

timbre es más bajo (<1 kHz; Cuesta y Cobo, 2018). Parece entonces que la relación del acúfeno con la HL es más compleja y que pueden existir otros factores, tales como alteraciones en las sinapsis entre las células ciliadas y las fibras del nervio auditivo que pueden contribuir a la aparición del acúfeno (Paul *et al.*, 2017).

Los substratos neurales del acúfeno sugieren varias aproximaciones para modificar el procesamiento neural y cambiar sus propiedades, obteniendo de este modo algún alivio. Aunque actualmente no existe ningún fármaco específico para la curación del acúfeno, se pueden usar aproximaciones neurofisiológicas o psicológicas para reducir sus efectos. Los tratamientos con base neurofisiológica incluyen métodos de sustitución para compensar la actividad perdida en la salida de la cóclea, vía ambientes acústicos especialmente diseñados, o amplificando el ambiente sonoro en los rangos de frecuencias perdidas mediante audífonos o algún otro dispositivo de generación de sonido. Las aproximaciones psicológicas están basadas en modelos neurofisiológicos del acúfeno o derivadas de paradigmas de tratamiento de personas con depresión. Usualmente se aplica conjuntamente con alguna terapia sonora (Jastreboff, 2015).

Se puede aprovechar la plasticidad para reducir la percepción del acúfeno estimulando adecuadamente la vía auditiva (Schäette y Kempter, 2006). Esto ha dado lugar a diferentes terapias sonoras, cuyo objetivo principal es producir habituación (Jastreboff, 1990) o inhibición residual (Henry, 2016). La habituación se produce al eliminar las connotaciones que inciden negativamente sobre la calidad de vida, actuando más sobre los sistemas límbico y autónomo, combinando el consejo terapéutico (habituación a la reacción) y el uso de terapia sonora (habituación a la percepción). Tiene que pasarse por estas dos etapas para conseguir ignorar el acúfeno (habituación). Enmascarando el acúfeno se puede conseguir que desaparezca su percepción. Una vez que cesa el estímulo se tarda un tiempo en volver a percibirlo, lo que se conoce como inhibición residual, que puede durar un tiempo variable (desde unos segundos hasta horas). La relación entre los parámetros del estímulo sonoro, tales como espectro, intensidad y duración y su efecto en el acúfeno, no se conoce muy bien (Henry, 2016), lo que ha dado lugar a proponer un gran número de terapias sonoras (Pienkowski, 2019).

El objetivo principal de este artículo es exponer las bases de una terapia sonora basada en las curvas de HL del paciente, especialmente apropiada para el

acúfeno. Esta terapia sonora, denominada ambiente acústico enriquecido (EAE, por sus siglas en inglés), consiste en una secuencia de tonos de frecuencia aleatoria dentro de la banda de audición (la banda de frecuencias en la que se miden las HL) y una amplitud directamente proporcional al valor de la pérdida auditiva a esa frecuencia.

2. Materiales y Métodos

Noreña y Eggermont (2005) ya demostraron que un grupo de animales a los que previamente se los había expuesto a un ruido traumatizante que alteraba su mapa tonotópico cortical, cuando se introducían en un ambiente acústico enriquecido consistente en una secuencia aleatoria de tonos *pip*, recuperaban su mapa tonotópico normal. Noreña y Chery-Croze (2007), por otra parte, usaron una terapia sonora similar para revertir la hipersensibilidad padecida por un grupo de sujetos con hiperacusia. En este caso, el estímulo consistía en una secuencia de tonos *burst* de frecuencia aleatoria y amplitud proporcional a la pérdida de audición. En realidad, esta secuencia de tonos *burst* era una variante de la secuencia de tonos *pip* usada por Noreña y Eggermont en su modelo animal. A continuación se analizan más detalladamente las propiedades de los tonos *pip* y *burst*, y se motiva la introducción de una nueva secuencia, los tonos gamma.

2.1. Secuencias de tonos *pip*

Los tonos *pip* tienen la forma (Noreña y Eggermont, 2005)

$$tp(t) = t^{\gamma-1} e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t \quad (1)$$

donde α y γ son dos constantes que determinan la forma de onda del tono, y por tanto su espectro. Pues bien, una secuencia de tonos *pip* (STP) tiene la forma

$$STP(t) = \sum_m A_m t^{\gamma-1} e^{-\alpha(t-\tau_m)} \cos[2\pi f_m(t-\tau_m)] \quad (2)$$

donde f_m es la frecuencia del tono *pip* elegida aleatoriamente dentro de la banda de interés, τ_m es el retardo de cada uno de ellos, o interlatencia entre los tonos, y A_m es la amplitud de cada tono, dada por

$$A_m = 10^{HL(f_m)/20} \quad (3)$$

siendo $HL(f_m)$ el valor de la pérdida auditiva a la frecuencia f_m . Así pues, cada uno de los tonos *pip*

está determinado por los parámetros (α, γ) y por la tasa de disparos (τ , número de tonos por segundo). En la mayor parte de los trabajos publicados se usa $\gamma = 3$. Para la tasa de pulsos, se suele usar una rápida (20 por segundo) y una lenta (1 por segundo).

2.2. Secuencias de tonos *burst*

Los tonos *burst* tienen por ecuación

$$tb(t) = w(t) \cos \omega_0 t \quad (4)$$

donde $w(t)$ es una ventana temporal (rectangular, Hanning, Hamming, etc.). Por tanto, una secuencia de tonos *burst* sería

$$STB(t) = \sum_m A_m w(t - \tau_m) \cos[2\pi f_m(t - \tau_m)] \quad (5)$$

donde, f_m , τ_m y A_m tienen el mismo significado que en las Ecs. (1- 3). Noreña y Chery-Croze (2007) usaban una ventana, $w(t)$, rectangular con rampas lineales de 5 ms de subida y bajada.

2.3. Secuencias de tonos gamma

Tanto los tonos *pip* como los *burst* estimulan selectivamente la vía auditiva. Sin embargo, el espectro de los tonos *pip*, determinado por el par de parámetros (α, γ) , es más parecido a la curva de respuesta en frecuencias de diferentes partes de la vía auditiva (la membrana basilar, por ejemplo). Por otra parte, dicha curva de respuesta en frecuencia depende de la especie. Por tanto, una terapia EAE óptima para el acúfeno sería una basada en secuencias de tonos *pip* con el par de parámetros (α, γ) apropiados para el sistema auditivo humano. Los filtros gamma son precisamente eso tonos *pip*, con las variables (α, γ) apropiadas para el sistema auditivo humano. Específicamente, la ecuación para un tono gamma es

$$tg(t) = t^{n-1} e^{-2\pi b t} \cos(2\pi f_0 t + \phi) \quad (6)$$

Cuando se transforma el tono gamma al dominio de la frecuencia se obtiene un filtro gamma de orden n , ancho de banda b , frecuencia central f_0 y fase ϕ . Patterson (1994) demostró que un filtro auditivo humano se obtiene con un filtro gamma de orden $n = 4$ y ancho de banda rectangular equivalente (ERB), también denominado «banda crítica», dado por

$$ERB = b = 0.108 f_0 + 24.7 \quad (7)$$

Para simular el movimiento de la membrana basilar se suele usar un banco de filtros gamma distribuidos a lo largo del eje de frecuencias. Finalmente, se obtiene la siguiente ecuación para la secuencia de tonos gamma

$$STG(t) = \sum_m A_m \left(\frac{b_m^4}{6} \right) t^3 e^{-b_m(t-\tau_m)} \cos[2\pi f_m(t-\tau_m)] \quad (8)$$

donde f_m , τ_m y A_m ya han sido definidos en la sección 2.1, b_m es el ancho de banda equivalente a la frecuencia f_m obtenido utilizando la Ec. (7), y $\left(\frac{b_m^4}{6} \right)$ es un factor de normalización.

2.4. Implementación del EAE como terapia sonora del acúfeno

Así pues, un EAE apropiado para la terapia de los acúfenos sería

$$EAE(t) = \sum_m A_m ST(t-\tau_m) \cos[2\pi f_m(t-\tau_m)] \quad (9)$$

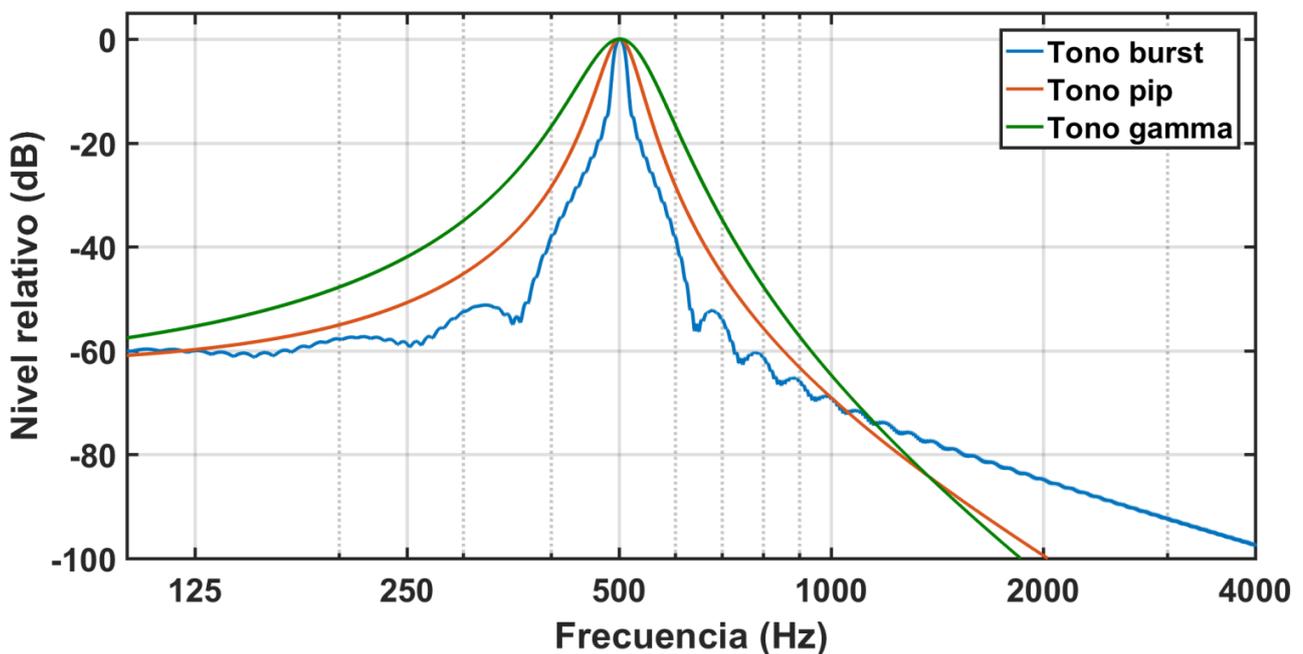
donde f_m , τ_m y A_m son la frecuencia, retardo y amplitud de cada tono, y

$$ST(t-\tau_m) = \begin{cases} t^{\gamma-1} e^{-\alpha(t-\tau_m)} & \text{para tonos pip} \\ w(t-\tau_m) & \text{para tonos burst} \\ \left(\frac{b_m^4}{6} \right) t^3 e^{-b_m(t-\tau_m)} & \text{para tonos gamma} \end{cases} \quad (10)$$

es la envolvente de cada pulso. La **figura 1** muestra los espectros de un tono *pip*, un tono *burst* y un tono gamma a la misma frecuencia ($f_0 = 500$ Hz). Para el tono *burst* se ha usado una ventana de Blackman-Harris. Para el tono *pip* se usa el par de parámetros $(\alpha, \gamma) = (3, 225)$. Los tres tonos muestran una cierta asimetría en escala logarítmica. No obstante, el tono gamma tiene un espectro ligeramente más ancho y con unas ramas izquierda y derecha más limpias.

La **figura 2** muestra los espectros de una secuencia de tonos gamma a diferentes frecuencias. En este caso se ha calculado una secuencia de 10 segundos, a una tasa de 4 pulsos por segundo. La secuencia contiene, por tanto, 40 tonos gamma. Como se puede comprobar, la amplitud de cada tono es proporcional al valor de la pérdida de audición a cada frecuencia. Un paciente de acúfenos con la HL de la **figura 2**, expuesto a una secuencia tal, percibiría todos los tonos al mismo nivel (sensación ecualizada de amplitud). Asumiendo que el acúfeno se desencadena esencialmente por el intento del sistema auditivo neural de compensar la privación periférica producida por la HL, el entrenamiento auditivo con este tipo de estímulo trabajaría en el sentido contrario, lo que ayudaría a la reducción progresiva de la percepción del acúfeno, y por consiguiente, a su habituación.

Figura 1: Espectros de un tono *burst*, un tono *pip* y un tono gamma, a la frecuencia de 500 Hz. Para el tono *burst* se usa una ventana del tipo Blackman-Harris. Para el tono *pip* se usa un par de parámetros $(\alpha, \gamma) = (3, 225)$. El tono gamma viene completamente determinado por la frecuencia central de 500 Hz.



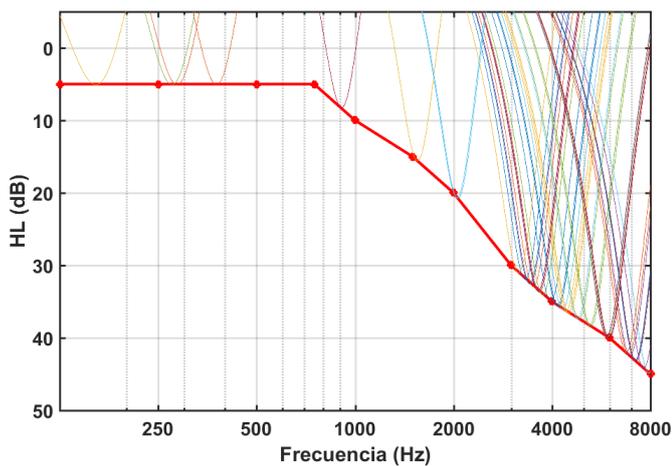


Figura 2: Espectros de una secuencia de tonos gamma superpuestos a la curva de HL correspondiente.

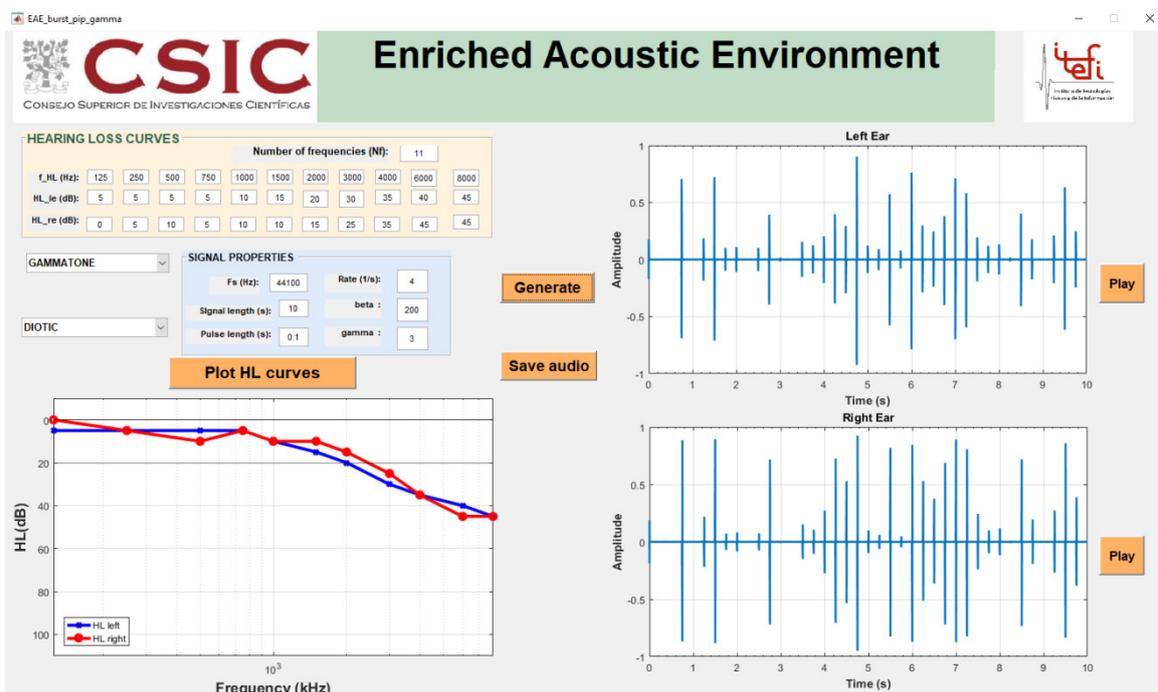
Cobo (2014) ha puesto a punto una interfaz gráfica de usuario (GUI), **figura 3**, para el diseño de una terapia EAE basada en secuencias de tonos *burst*, *pip* y *gamma*. Partiendo de las curvas de HL de los pacientes en cada oído, la GUI permite generar la EAE como una secuencia diótica o dicótica de tonos, reproducirla a través de la tarjeta de sonido del ordenador o guardarla como un archivo de audio para que el paciente la pueda escuchar a través de un equipo de sonido, según las indicaciones del especialista. La GUI incluye

también una sección de propiedades de la señal en la cual se pueden introducir la frecuencia de muestreo, en Hz, la longitud de la señal, en s, y la tasa de pulsos por segundo. En otra sección se dibujan las curvas de HL de cada oído del paciente, lo que permite un mejor control visual de su capacidad auditiva.

Resultados

En el año 2018 se inició un estudio clínico, con la aprobación del Subcomité de Bioética del CSIC, para probar la terapia EAE en pacientes de acúfenos de etiología variada. Todos los participantes de este estudio firmaron un consentimiento informado. Hasta ahora se han reclutado 140 pacientes de los cuales fueron excluidos 20 por diferentes causas. A los 120 restantes se les sometió a un tratamiento combinado de consejo terapéutico y terapia sonora. El consejo terapéutico, que se aplicó en una sesión única de unos 60 minutos al inicio del tratamiento, consistió en una presentación en la que se les explicaban los mecanismos, epidemiología y etiología del acúfeno, así como los fundamentos de la terapia sonora EAE. La terapia sonora personalizada consistió en una EAE basada en una secuencia binaural de tonos *burst*, *pip* o *gamma*. Los pacientes elegían el más confortable de los tres tipos de tonos. La prescripción fue oír

Figura 3: GUI para el diseño de un EAE para la terapia sonora del acúfeno basado en una secuencia de tonos.



este estímulo una hora al día durante cuatro meses. Abandonaron el tratamiento 34 pacientes antes de su finalización y otros 11 no lo han acabado todavía. Se les realizó un control mensual a través de la versión española del cuestionario *Tinnitus Handicap Inventory* (THI) (Herráiz *et al.*, 2001). El THI es un cuestionario de 25 preguntas diseñado para medir la angustia, el hándicap y las consecuencias sicosociales del acúfeno (Newman *et al.*, 1998). De acuerdo con la escala de gravedad del acúfeno propuesta por McCombe *et al.* (2001), $18 \leq \text{THI} \leq 36$ correspondería a un acúfeno leve, $38 \leq \text{THI} \leq 56$ a un acúfeno moderado, $58 \leq \text{THI} \leq 76$ a un acúfeno severo, $\text{THI} \geq 78$ a un acúfeno catastrófico.

Los resultados en los 75 pacientes que han completado el tratamiento son muy prometedores y están bajo revisión en otra revista científica. A modo de ilustración se presentan aquí los resultados preliminares en tres pacientes sometidos a un EAE de tonos *pip* y *gamma*.

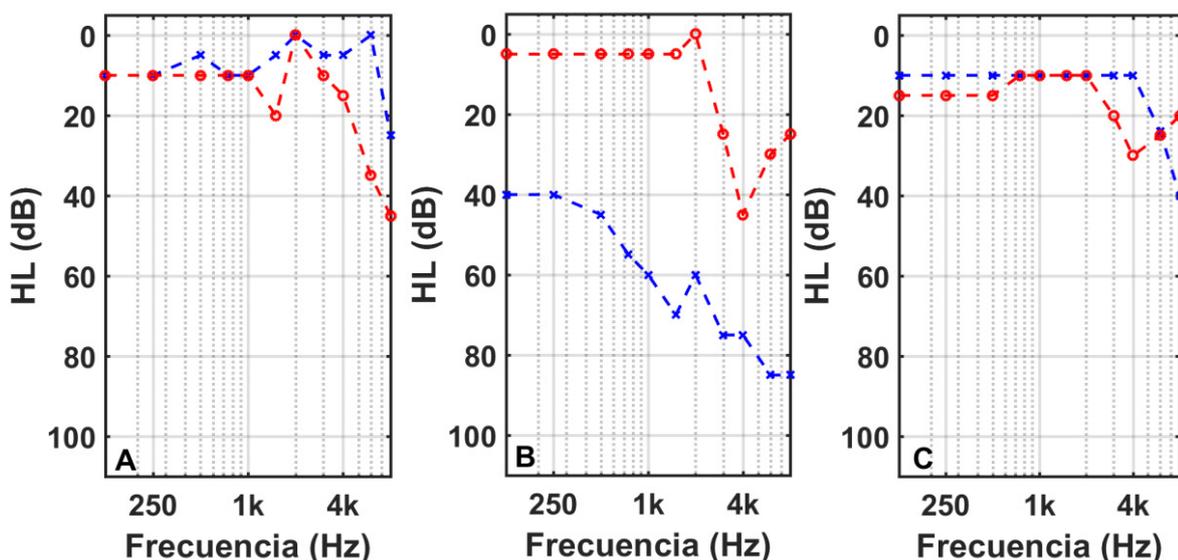
El paciente nº 1 es un varón de 44 años que fue reclutado para nuestro estudio en enero de 2018. Su acúfeno, localizado en el oído derecho, surgió en noviembre de 2015, coincidiendo con una época de estrés alto. Previamente, había sufrido una estapedectomía del oído derecho en el año 2012. Sus audiometrías, **figura 4A**, mostraban una audición normal en el oído izquierdo y unas pérdidas moderadas en frecuencias altas en el oído derecho. Eligió ser tratado con una secuencia de tonos *pip*, con parámetros $(\alpha, \gamma) = (3, 200)$. Después de los cuatro meses de

tratamiento con este EAE, su THI se redujo desde un valor inicial de 36 hasta un valor final de 18, **figura 5**.

El paciente nº 2 es un varón de 60 años que ingresó en nuestro estudio en julio de 2019. Tenía un acúfeno en el oído izquierdo desde hacía tres años que surgió después de un episodio de vértigo por enfermedad de Ménière. Sus audiometrías, **figura 4B**, muestran una audición normal en el oído derecho, en frecuencias bajas y medias, y una pérdida ligera a moderada a frecuencias altas. En el oído izquierdo, sin embargo, presenta pérdidas de moderadas, a frecuencias bajas, a profundas, a frecuencias altas. Después de seguir un tratamiento EAE con una secuencia de tonos *gamma*, su THI experimentó una bajada de 34 puntos, **figura 5**, desde un valor inicial de 68 hasta un valor final de 34.

El paciente nº 3 es una mujer de 42 años que solicitó ingresar en nuestro estudio en marzo de 2021. Padece un acúfeno en el oído izquierdo desde hacía un año y medio. En diciembre de 2019 fue diagnosticada de una neuritis vestibular, que le causó vértigos y acúfeno. Sus audiometrías, **figura 4C**, muestran una audición normal en el oído derecho con un ligero escotoma en 4 kHz y pérdidas ligeras a frecuencias altas en el oído izquierdo. La gravedad de su acúfeno se incrementó en noviembre de 2020, coincidiendo con su contagio del COVID-19. Se sometió a una terapia EAE basada en una secuencia de tonos *gamma* entre Marzo y Julio de 2021. Su THI experimentó una bajada de 40 puntos, desde un valor inicial de 46 hasta un valor final de 6 (**Figura 5**).

Figura 4: Curvas de HL de los oídos izquierdo (línea azul) y derecho (línea roja) de los tres pacientes sometidos a la terapia EAE del acúfeno.



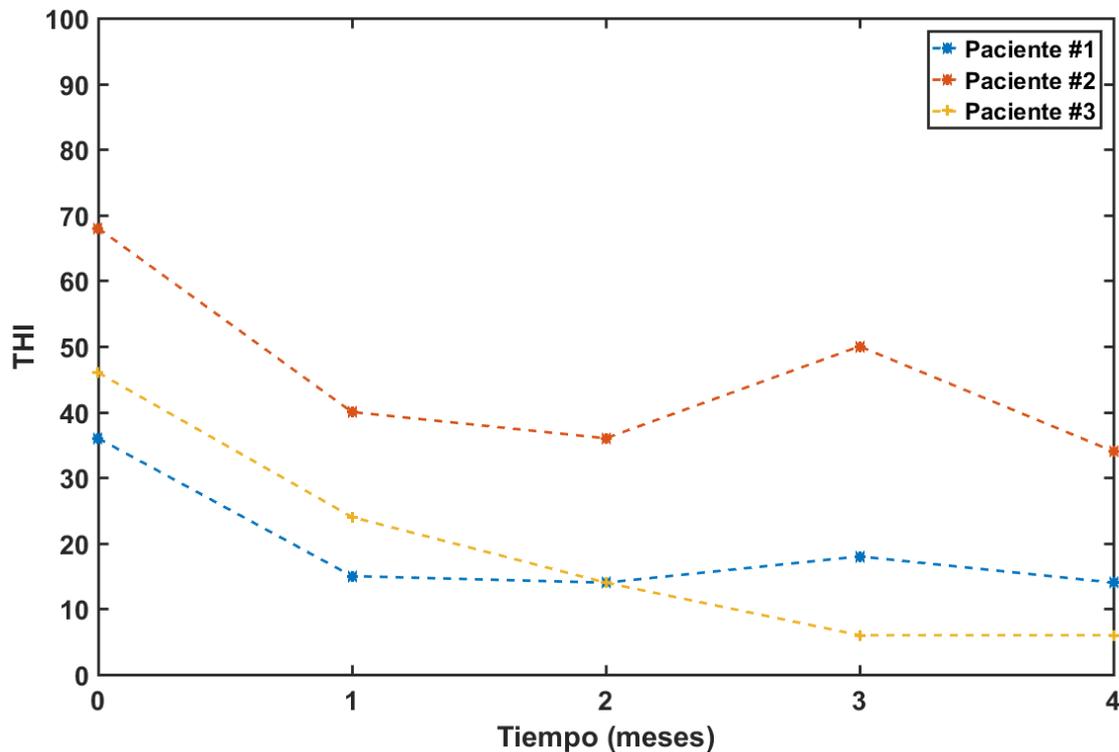


Figura 5: Evolución del THI de los tres pacientes sometidos a la terapia EAE del acúfeno.

Discusión

La terapia EAE, como la de Reentrenamiento del Acúfeno (TRT), se aplica en combinación con el consejo terapéutico (Jastreboff, 2015). La diferencia principal entre ambos tratamientos radica en el tipo de estímulo que se usa en la terapia sonora. El estímulo usual en la TRT es un ruido de banda ancha, aunque también se han usado otros estímulos, tales como sonidos coloreados (Henry *et al.*, 2004) o filtrados en una banda más estrecha (Kim *et al.*, 2014), y música espectralmente alterada (Li *et al.*, 2016). Mientras que el ruido de banda ancha es válido para cualquier tipo de paciente, el estímulo EAE se basa en las pérdidas de audición, y por tanto, es personalizado para cada sujeto. Aunque cualquier tipo de sonido es mejor que el silencio como terapia sonora del acúfeno, con tal de que no produzca daños o moleste (Jastreboff y Jastreboff, 2000), el estímulo EAE incorpora la compensación por la pérdida auditiva, por lo que es más selectivo que el ruido de banda ancha.

La terapia EAE se implementa mediante una secuencia de tonos *pip*, *burst* o *gamma*, a elegir por el paciente. Las secuencias de tonos *pip* y *gamma* ya fueron usadas por otros autores (Noreña y Eggermont, 2005; Noreña y Chery-Croze, 2007). Los tonos

pip, que fueron usados esencialmente en modelos animales, son más selectivos que los tonos *gamma* y tienen una envolvente (y por tanto, un espectro) que depende de dos parámetros (α, γ). Estos parámetros toman unos valores que varían para cada especie animal ensayada. La aplicación directa de estos tonos *pip* para la terapia sonora del acúfeno requiere, por tanto, asignar el valor apropiado a estos parámetros para la especie humana. La aportación más novedosa de este trabajo es la incorporación de los tonos *gamma*, en los cuales la forma de onda (y el espectro) de cada uno de los tonos está determinada exclusivamente por la frecuencia del tono. Por tanto, mientras que los parámetros de los tonos *pip* están indefinidos, puesto que dependen de la especie ensayada, en los tonos *gamma*, están perfectamente definidos.

La duración del tratamiento EAE que estamos proponiendo (una hora al día, durante cuatro meses) es mucho más corta comparada con otras encontradas en la literatura. Henry *et al.* (2006), Bauer *et al.* (2017) y Oishi *et al.* (2013), por ejemplo, presentaron los resultados de estudios clínicos usando la TRT durante 18 o 24 meses. Sin embargo, usando un estímulo personalizado, como el EAE, se puede conseguir un efecto clínicamente relevante (reducción del THI mayor que 20 puntos) en un tiempo mucho más corto.

En este artículo se presentan resultados de reducción del THI para tres pacientes cuyo acúfeno se generó después de un episodio de estrés (paciente n.º 1), enfermedad de Ménière (paciente n.º 2) y neuritis vestibular (paciente n.º 3). No obstante, al igual que la TRT, la terapia EAE se puede aplicar a pacientes de acúfenos de cualquier etiología (Jastreboff, 2015). Las únicas restricciones (criterios de exclusión) son operaciones quirúrgicas (menos de tres meses), episodios de vértigo recientes (menos de 15 días), o hidrocefalia. Además, se consideran criterios excluyentes la edad menor que 18 y mayor que 75 años, y la gravedad del acúfeno (THI < 20).

Los tonos de la secuencia EAE incluyen un factor de amplitud que es proporcional a la pérdida de audición del paciente en cada frecuencia. Así mismo, como el estímulo es estéreo, se incluye la diferente sensibilidad de cada oído. El resultado es un estímulo estéreo que produce una sensación ecualizada en ambos oídos en todas las frecuencias. Este estímulo ecualizado es apropiado para pacientes con pérdidas de ligeras a moderadas y que no padecen de tolerancia reducida al sonido (hiperacusia o misofonía). En pacientes con hiperacusia o misofonía, o con pérdidas de audición graves o profundas, hay que tener cuidado para no amplificar excesivamente los pulsos de la secuencia. En estos casos, la amplitud de los tonos se ajusta como un compromiso entre la compensación de la pérdida auditiva y el umbral de intolerancia al sonido.

Conclusiones

El ambiente acústico enriquecido consiste en una secuencia de tonos (*pip*, *burst* o *gamma*) de frecuencia aleatoria dentro de la banda de audición y amplitud proporcional a la pérdida de audición en esa frecuencia. El espectro de cada tono *gamma* en una frecuencia es un filtro *gamma* que estimula selectivamente el sistema auditivo en esa frecuencia. Por tanto, una secuencia de tonos *gamma* con amplitudes que compensan la pérdida de audición del paciente en cada frecuencia constituye el estímulo sonoro personalizado óptimo para la terapia sonora del acúfeno.

Referencias

- Baguley, D., McFerran, D., Hall, D. (2013). Tinnitus. *Lancet*, 382, 1600-1607. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60142-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60142-7).
- Bauer, C.A., Berry, J.L., Brozowski, T.J. (2017). The effect of Tinnitus Retraining Therapy on chronic tinnitus: A controlled trial. *Laryngoscope Investig. Otolaryngol.*, 2, 166-177. doi: [10.1002/lto.2.76](https://doi.org/10.1002/lto.2.76).
- Cobo, P. (2014). *Ambiente Acústicamente Enriquecido para la terapia sonora del acúfeno*. IX Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA 2014, Valdivia (Chile).
- Cuesta, M., Cobo, P. (2018). Relating tinnitus features and audiometric characteristics in a cohort of 34 tinnitus subjects. *Loquens*, 5, e054. <https://doi.org/10.3989/loquens.2018.054>
- Eggermont, J.J. (2012). *The Neuroscience of Tinnitus*. Oxford University Press, Oxford (UK).
- Henry, J.A., Rheinsburg, B., Zaugg, T. (2004). Comparison of custom sounds for achieving tinnitus relief. *J. Am. Acad. Audiol.*, 15, 585-598. doi: [10.3342/ceo.2014.7.2.87](https://doi.org/10.3342/ceo.2014.7.2.87).
- Henry, J.A., Schechter, M.A., Zaugg, T.L., Griest, S., Jastreboff, P.J., Vernon, J.A., Kaelin, C., Meikle, M.B., Lyons, K.S., Stewards, B.J. (2006). Outcomes of clinical trial: Tinnitus Masking versus Tinnitus Retraining Therapy. *J. Am. Acad. Audiol.*, 17, 104-132. doi: [10.3766/jaaa.17.2.4](https://doi.org/10.3766/jaaa.17.2.4).
- Henry, J.A. (2016). Measurement of tinnitus. *Otol. Neurotol.*, 37, e276-e275. doi: [10.1097/MAO.0000000000001070](https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001070).
- Herráiz, C., Hernández Calvín, F.J., Plaza, G., Tapia, M.C., De los Santos, G. (2001). Evaluación de la incapacidad en los pacientes con acúfenos. *Acta Otorrinolaringol. Esp.*, 52, 142-145. doi: [10.1016/S0001-6519\(01\)78247-7](https://doi.org/10.1016/S0001-6519(01)78247-7).
- Herráiz, C., Hernández Calvín, F.J. (2002). *Acúfenos: Actualización*. Ars Médica (Madrid).
- Jastreboff, P.J. (1990). Phantom auditory perception (tinnitus): mechanisms of generation and perception. *Neurosci. Res.*, 8, 221-254. doi: [10.1016/0168-0102\(90\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0168-0102(90)90031-9).
- Jastreboff, P.J., Jastreboff, M.M. (2000). Tinnitus Retraining Therapy (TRT) as a method for treatment of tinnitus and hyperacusis patients. *J. Am. Acad. Audiol.*, 11, 162-177.
- Jastreboff, P.J. (2015). 25 years of tinnitus retraining therapy. *HNO*, 63, 307-311. doi: [10.1007/s00106-014-2979-1](https://doi.org/10.1007/s00106-014-2979-1).
- Kim, B.J., Chung, S.W., Jung, J.Y., Suh, M.W. (2014). Effect of different sounds on the treatment outcome of tinnitus retraining therapy. *Clin. Exp. Otorhinolaryngol.*, 7, 87-93. doi: [10.3342/ceo.2014.7.2.87](https://doi.org/10.3342/ceo.2014.7.2.87).
- Li, S.A., Bao, L., Chrostowski, M. (2016). Investigating the effects of a personalized, spectrally altered music-based sound therapy on treating tinnitus: A blinded, randomized controlled trial. *Audiol. Neurootol.*, 21, 296-304. doi: [10.1159/000450745](https://doi.org/10.1159/000450745).
- López González, M.A. (2010). Factores etiopatogénicos de acúfenos. En *Acúfeno como Señal de Malestar* (López González y Esteban Ortega, Eds.), Capítulo 3, 22-30, CC2010, Sevilla.

- McCombe, A., Baguley, D., Coles, R., McKeyna, L., McKinney, C., Windle-Taylor, P. (2001). Guidelines for the grading of tinnitus severity: the results of a working group commissioned by the British Association of Otolaryngologists. *Clin. Otolaryngol. Allied Sci.*, 26, 388-93. doi: [10.1046/j.1365-2273.2001.00490.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.2001.00490.x).
- Newman, C.W., Sandridge, S.A., Jacobson, G.P. (1998). Psychometric adequacy of the Tinnitus Handicap Inventory (THI) for evaluating treatment outcome. *J. Am. Acad. Audiol.*, 9, 153-60.
- Noreña, A.J., Eggermont, J.J. (2005). Enriched acoustic environment alter noise trauma reduces hearing loss and prevents cortical map reorganization. *J. Neurosci.*, 25, 699-705. doi: [10.1523/JNEUROSCI.2226-04.2005](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2226-04.2005).
- Noreña, A.J., Chery-Croze, S. (2007). Enriched acoustic environment rescues auditory sensitivity. *NeuroReport*, 18, 1251-1255. doi: [10.1097/WNR.0b013e3282202c35](https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282202c35).
- Oishi, N., Shinden, S., Kanzaki, S., Saito, K., Inoue, Y., Ogawa, K. (2013). Effects of tinnitus retraining therapy involving monaural noise generators. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.*, 270, 443-448. doi: [10.1007/s00405-012-1951-5](https://doi.org/10.1007/s00405-012-1951-5).
- Patterson, R.D. (1994). The sound of a sinusoid: Spectral models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 96, 1409-1418. <https://doi.org/10.1121/1.410285>.
- Paul, B.T., Bruce, I.C., Roberts, L.E. (2017). Evidence that hidden hearing loss underlies amplitude modulation encoding deficits in individuals with and without tinnitus. *Hear. Res.*, 344, 170-182. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.04.005>.
- Pienkowski, M. (2019). Rationale and efficacy of sound therapies for tinnitus and hyperacusis. *Neurosci.*, 407, 120-34. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.09.012>.
- Schaette, R., Kempner, R. (2006). Development of tinnitus-related neuronal hyperactivity through homeostatic plasticity after hearing loss: a computational model. *Eur. J. Neurosci.*, 23, 3124-3138. doi: [10.1111/j.1460-9568.2006.04774.x](https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04774.x).
- Tan, C.M., Lecluyse, W., McFerran, D., Meddis, R. (2013). Tinnitus and patterns of hearing loss. *JARO*, 14, 275-282. doi: [10.1007/s10162-013-0371-6](https://doi.org/10.1007/s10162-013-0371-6).
- Vio, M.M., Holmes, R.H. (2015). Hearing loss and tinnitus: 250 million people and a US\$10 billion potential market. *Drug Discovery Today*, 10, 1263-1265. doi: [10.1016/S1359-6446\(05\)03594-4](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(05)03594-4).

Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés.

Fondos

Esta investigación no ha recibido fondos externos.

Agradecimientos

Se agradece la participación de los pacientes en este estudio.

Oficina editorial

Revisión ortotipográfica: Tomás Pérez Pazos

Traducción: Louis M. de Ladebauche

Producción: Publicaciones Académicas