

PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A031R

Umbrales de eco en participantes ciegos

Claudia Arias ^{(a), (b)}
Aldo H. Ortiz Skarp ^(a)

(a) Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional – Unidad Asociada del CONICET. M. M. López esq. Cruz Roja Argentina s/n, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina. E-mail: carias@scdt.frc.utn.edu.ar

(b) Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba. Enrique Barros esq. Enfermera Gordillo, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina

Abstract

The precedence effect is a strategy that listeners unconsciously employ to cope with multiple arrays of directional cues in reverberant spaces. It refers to the auditory phenomenon that occurs when two similar sounds —lead and lag— are presented from different locations with a brief delay between them, and only one sound is heard whose perceived location is dominated by the sound arriving first. Three aspects are involved: fusion, localization dominance and discrimination suppression. The first one —the lead and lag perceptually fuse into one auditory event— is useful to avoid multiple sound images. In order to study the possible relation between echolocation at short distance and the precedence effect, we have evaluated blind and sighted subjects with three auditory tests that measure the above mentioned aspects. In this article we present theoretical and methodological considerations and the main results obtained by blind adults in the fusion test, i.e., echo threshold measurements.

Resumen

El efecto precedente es una estrategia inconscientemente utilizada para enfrentar la información sonora conflictiva de los ambientes cerrados. Se lo refiere como el fenómeno perceptual de fusión espacial que ocurre cuando dos sonidos similares -líder y retardado- se presentan desde diferentes lugares, separados por un breve retardo de tiempo. El individuo escucha sólo un sonido que localiza según la dirección del sonido que llegó primero. Involucra tres perceptos: fusión, dominancia en la localización y supresión de la discriminación del sonido retardado. El primero se refiere a la fusión de los dos sonidos en una sola y coherente imagen auditiva, lo cual resulta útil para evitar imágenes sonoras múltiples. Con el propósito de avanzar en el conocimiento de la ecolocación humana a distancias cercanas y su relación con el efecto precedente, se implementaron y administraron a participantes ciegos y con visión normal, tres pruebas auditivas especialmente diseñadas para medir los perceptos mencionados. En este artículo se presentan aspectos teóricos, metodológicos y principales resultados obtenidos por adultos ciegos en una de las pruebas -i.e., la prueba de fusión que mide umbrales de eco.

1 Introducción

La línea de investigación interdisciplinaria *Ecolocación Humana* del CINTRA UTN-UA CONICET, apunta a promover el desarrollo de habilidades perceptuales inexploradas. Su objeto de estudio es la ecolocación, habilidad crucial para el logro de la movilidad eficiente de la persona ciega. Se trata de un fenómeno perceptual que se enmarca en el área tan escasamente estudiada como promisorio de los procesos cognitivos de la audición cotidiana de sonidos no verbales. Implica generar sonidos propios (por ejemplo: chasquidos de dedos, clicks con la lengua, golpeteo del bastón) con el propósito específico de obtener información del ambiente -cuando se reflejan en las superficies del entorno- para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven. En otras palabras, la información relevante se encuentra contenida en la dupla directa-reflejada.

Se han descriptos dos modalidades complementarias de ecolocación: a larga y corta distancia. En esta última, la señal directa o autoproducida y la reflejada no se perciben separadas sino fusionadas. Es la que mayor significación tiene en la vida diaria de una persona ciega, ya que le sirve no sólo para orientarse en el espacio sino además, para proteger su integridad física al evitar el choque contra obstáculos eventuales.

El propósito general de la línea consiste en avanzar en la comprensión del proceso de ecolocación humana y sus mecanismos subyacentes, en pos de enriquecer las bases teóricas y prácticas del entrenamiento en la orientación espacial y movilidad de la persona ciega.

Utilizando tres sistemas (dos computarizados y uno manual) enteramente diseñados y construidos por el equipo (Ramos, Arias, Ortiz Skarp y Frassoni, 2001), se llevaron a cabo una serie de pruebas especialmente diseñadas para analizar la ecolocación a distancias cercanas y su relación con dos fenómenos de fusión auditiva descriptos en personas con visión normal, supuestamente involucrados: la altura tonal de la repetición (RP) y el efecto precedente (EP). El primero se refiere a la altura tonal particular (RP) que se produce cuando se presentan dos sonidos similares separados por un breve retardo de tiempo (el par directa-réplica de este paradigma, se corresponde con el par directa-reflejada del paradigma de ecolocación). La persona ciega podría detectar y reconocer objetos procesando los cambios sutiles que producen en los sonidos que autogenera cuando se reflejan en los objetos del entorno. El EP ha sido descripto tradicionalmente como un mecanismo supresor de ecos que, en los ambientes cerrados, ayudaría a localizar con precisión la fuente sonora primaria, de mayor significación ecológica. Sin embargo, investigaciones recientes demuestran que la información espacial contenida en la señal reflejada no se pierde y que es posible, bajo ciertas condiciones, aprender a utilizarla para algún propósito específico, tal el caso de una persona ciega con buena habilidad de ecolocación (Schenkman, 1985; Arias y Ramos, 2001, 2003; Arias, 2008, 2009a).

También se compararon funciones auditivas periféricas y centrales de personas ciegas con buena habilidad de ecolocación y personas con visión normal e se indagó acerca del intrigante fenómeno de la "visión facial" -aspecto particular referido a la sensación cutánea que algunas personas, tanto ciegas como con visión normal, sienten en el rostro ante la cercanía del objeto (Arias, Curet, Ferreyra Moyano, Jockes y Blanch, 1993a; Arias, Ramos, Ortiz Skarp y Hüg, 1999). Actualmente la línea está involucrada en tres temas de actualidad: audición espacial en infantes ciegos y con visión normal (Hüg y Arias, 2009); claves dinámicas en localización sonora y en ecolocación (Arias et al., 2007a; Bermejo, Gómez y Arias, 2008) y la ecolocación humana a la luz de la teoría del acoplamiento sensoriomotor y de los avances realizados en el campo de la sustitución sensorial (Arias et al., 2009c).

En este artículo se presentan aspectos teóricos, metodológicos y principales resultados obtenidos por adultos ciegos en una prueba de fusión bajo condición de precedencia, medida a través del umbral de eco (UE).

2 Aspectos teóricos

2.1 Sonidos en ambientes cerrados

La habilidad para localizar con exactitud la fuente de un sonido es de importancia capital tanto para los animales como para los humanos (Clarkson y Clifton, 1991). La mayoría de los estudios de localización sonora han sido realizados en condiciones artificiales con auriculares o en cámara anecoica, donde el sonido viaja en línea recta desde la fuente al sujeto. Sin embargo, casi todos los eventos sonoros a los que está expuesto el ser humano en su vida cotidiana, ocurren en lugares donde hay paredes, techos y objetos que reflejan el sonido, es decir, en ambientes reverberantes donde también ha demostrado ser muy hábil para localizar sonidos.

En un ambiente reverberante el sonido se propaga en múltiples direcciones y sufre cambios físicos de importancia al reflejarse en las superficies cercanas. El sistema auditivo se enfrenta así con una batahola de información sonora y debe ser capaz de resolver la competencia perceptual que se produce entre el sonido original o directo y sus reflexiones. Es útil recordar, por una parte, que la fuente que genera el sonido original o directo se denomina fuente primaria y la que genera la reflexión, fuente secundaria y por otra que, en general, la reflexión es una copia coherente, retardada y atenuada del sonido original que no se escucha como evento separado. El término eco se utiliza cuando la reflexión se percibe como un evento sonoro independiente, es decir, separada del sonido directo.

Se ha evidenciado en los últimos años un creciente interés por estudiar el efecto que tienen las reflexiones sobre la habilidad para localizar sonidos y por comprender cómo procesa el sistema auditivo los múltiples indicios direccionales que existen en ambientes reverberantes.

2.2 El efecto precedente

Una estrategia utilizada de manera inconsciente por el individuo para enfrentar la información sonora conflictiva de los ambientes reverberantes, es el EP. Esta habilidad denominada también efecto Haas y/o Ley del primer frente de onda, ha sido definida como el fenómeno de audición espacial que ocurre cuando dos sonidos similares (el par líder-retardada de este paradigma se corresponde con el par directa-reflejada del paradigma de ecolocación) se presentan desde diferentes lugares, separados por un breve retardo de tiempo. El sujeto escucha sólo un sonido que localiza en la dirección del sonido que le llegó primero (líder). Aunque la persona se da cuenta de la presencia del segundo sonido (retardado), le resulta difícil y en algunas condiciones imposible de localizar (Wallach, Newman y Rosenzweig, 1949; Gardner, 1968; Yost y Soderquist, 1984; Blauert, 1997).

Se ha sugerido que el EP es un mecanismo que -al atribuirle un fuerte pesaje al sonido directo y reducir la influencia de la información direccional de los sonidos retardados- ayuda al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria, que es la que tiene mayor significación vital.

Para simplificar el estudio de este fenómeno complejo, en la mayoría de las investigaciones se utiliza un solo eco. Se crea una situación experimental en cámara anecoica (campo libre), usando dos parlantes separados entre sí y equidistantes del sujeto. Uno de ellos emite el líder, el otro, desde un lugar distinto y después de un breve retardo variable (τ), emite

una réplica del primer sonido a manera de reflexión simulada (retardada). Blauert (1997) describió un continuo de cambios perceptuales que se producen a medida que el retardo se incrementa. Para $\tau = 0$ ms (ambos sonidos se presentan simultáneamente), el sujeto percibe una única imagen fusionada “fantasma” ubicada en la mitad del trayecto entre ambos altavoces. A medida que el retardo se incrementa de 0 a 1 ms, la “imagen fantasma” migra hacia el sonido líder. Para retardos entre 1 ms y 30 ms, la fuente sonora se localiza en la posición del sonido líder y la información direccional contenida en el sonido retardado es prácticamente descartada. Para retardos que exceden los 30-35 ms, la imagen se “parte” en dos y el sujeto puede localizar separadamente ambos eventos, según la posición de los respectivos altavoces. El retardo para el cual la imagen fusionada se parte en dos, se llama umbral del eco (UE) y depende fuertemente del tipo de estímulo empleado. El EP ha sido replicado con éxito en estudios de lateralización (con auriculares) con resultados similares a los mencionados en el párrafo anterior.

Tres perceptos están involucrados en este fenómeno: fusión, dominancia en la localización y supresión de la discriminación del sonido retardado. El primer percepto se refiere a la fusión de los dos sonidos en una sola y coherente imagen auditiva, lo cual resulta útil para evitar imágenes sonoras múltiples. En una tarea de fusión, se le pregunta al sujeto cuántos sonidos escucha en mediciones repetidas para varios retardos entre el par líder-retardada. El segundo percepto se refiere al procesamiento de la información direccional, esto es, dónde se localiza la imagen fusionada y cuánto domina la posición del sonido líder esta percepción. En los experimentos de dominancia se le pide al sujeto que “apunte” con un puntero acústico cuyos parámetros pueden manipularse, al lugar donde percibe que está la imagen fusionada. El tercer percepto se refiere a la habilidad del sujeto para procesar la información direccional contenida en el sonido retardado. La tarea que debe realizar implica extraer información de un sonido que no es audible como evento separado. En general, se ha observado que para retardos menores a 5 ms resulta muy difícil discriminar cambios en el sonido retardado (Litovsky, Colburn, Yost y Guzman, 1999).

Los últimos estudios muestran que, a pesar de que el ser humano no es conciente de las reflexiones, es sensible para procesar la información contenida en ellas. Por ejemplo: Saberi y Perrott (1990) concluyeron que mediante el aprendizaje y el entrenamiento, es posible “apagar” este mecanismo de supresión y extraer la información contenida en los ecos; Freyman, McCall y Clifton (1998) observaron una buena sensibilidad de los sujetos para percibir varios aspectos del sonido retardado, incluyendo su intensidad y contenido espectral. Estos hallazgos recientes constituyen precisamente los fundamentos científicos más promisorios para el entrenamiento de la persona ciega en ecolocación.

2.3 El percepto fusión del efecto precedente

La gran mayoría de los estudios de fusión fueron realizados en campo libre, antes de la década del 70, mientras que se han llevado a cabo pocas investigaciones con auriculares (para una revisión ver Blauert, 1997). Hasta donde se tiene conocimiento, no se han informado UEs de personas ciegas, a excepción de la mención realizada por investigadores japoneses, quienes llevaron a cabo un estudio cuyo objetivo consistió en evaluar la habilidad para localizar sonidos reflejados bajo condición de precedencia en el plano vertical, en dos personas ciegas congénitas y tres personas con visión normal. Los autores informaron que todos los sujetos experimentaron el efecto Haas aunque ambos participantes ciegos fueron más resistentes a la fusión (Seki, Ifutube y Tanaka, 1994).

El paradigma experimental clásico para medir este percepto, consiste en presentar aleatoriamente numerosos ensayos con el estímulo líder-retardada a varios retardos entre los

componentes del par. El participante debe informar la impresión subjetiva que tiene de escuchar uno o dos sonidos en cada ensayo. Se grafica la función psicométrica de los resultados obtenidos, que muestra el porcentaje de ensayos en los que el participante respondió: “Dos sonidos”, en función de los retardos usados.

El UE es la medición utilizada comúnmente para evaluar el percepto de fusión del EP. Indica el límite temporal que divide la percepción de “un sonido fusionado”, de “dos sonidos claramente separados”, en algún porcentaje predeterminado de ensayos (usualmente entre 50% y 75%). En general, el porcentaje de ensayos “dos sonidos” se incrementa en forma escalonada en función del retardo, aunque el UE varía enormemente (2 – 50 ms) dependiendo, entre otras variables, de la naturaleza del estímulo, la consigna, la separación espacial entre la líder y la retardada. En relación al tipo de estímulo, se ha demostrado que el UE es mucho más bajo para estímulos breves (clicks) que para estímulos de más larga duración como el ruido y la palabra hablada. Por ejemplo, se han informado UEs para click entre 5 y 10 ms (entre otros: Freyman, Clifton y Litovsky, 1991; Litovsky, Colburn, Yost y Guzman, 1999). Para estímulos de ruido, entre 5 y 22 ms, dependiendo de su duración y para estímulos del lenguaje hablado, entre 30 y 50 ms (Schuber y Wernick, 1969; Haas, 1951; Lochner y Burger, 1958, citados por Litovsky et al. 1999).

Es importante enfatizar que el UE no es el umbral de detección de la retardada ni mide enmascaramiento, ya que es fácil distinguir -basándose en la calidad global del sonido- entre ensayos donde están presentes ambas, líder y retardada fusionadas, de los ensayos en los que sólo se presenta la primera. Estudios previos realizados por la línea en los que participaron personas ciegas y con visión normal, confirman lo mencionado en el párrafo anterior (Arias, 1989a; Arias y Ramos, 1997). Lo mismo se comprueba en situaciones reales, donde las reflexiones de un recinto, a pesar de no escucharse como eventos separados, influyen sobre varios parámetros de la imagen fusionada, tales como sonoridad, espacialidad y altura tonal (pitch). Estos cambios perceptuales a su vez, también dependen entre otras variables, del tipo de estímulo, nivel sonoro y dirección de las fuentes sonoras.

Precisamente, se considera que el hecho de que el efecto de la fusión sea más fuerte en el rango de 1 – 8 ms, puede estar relacionado con la acústica de los espacios cerrados relativamente pequeños, donde el ser humano, en general, pasa la mayor parte del tiempo: debido a que el sonido viaja a una velocidad aproximada de 340 metros por segundo, una reflexión puede tardar hasta 6 ms para llegar al oído desde una pared cercana y hasta 10 ms o más de una pared lejana. En otras palabras, las ventajas de la fusión serían más notorias en recintos pequeños, reduciéndose a medida que las superficies reflectoras están ubicadas más lejos del escucha.

3 Método

Se evaluó a un grupo de personas ciegas con buena habilidad de ecolocación -según el juicio del instructor de Orientación y Movilidad- en una prueba de fusión que mide UE. El estudio de Litovsky (1997) sirvió de base para estimar el UE en campo libre y para medirlos con auriculares se tomó como referencia, las investigaciones de Litovsky y Shinn-Cunningham (2001) y de Arias, Ramos, Ortiz Skarp, Hüg, Céspedes Daza y Heredia (2004).

3.1 Umbral de eco en campo libre

El estímulo sonoro consistía en un único par líder-retardada. Se utilizaron dos tipos de estímulos que fueron denominados 4ms y estímulo E (Figura 1a y 1b). El primero era un burst de ruido de banda ancha (500 a 8500 Hz) de 4 ms de duración con tiempo de crecimiento-caída de 2 ms. El segundo era una señal real de ecolocación (chasquido con la lengua)

producida por una persona ciega que participó en estudios anteriores, que fue digitalizada y almacenada en CD. Esta señal fue grabada en sala anecoica utilizando un micrófono Brüel & Kjær tipo 4133, amplificador de medición Brüel & Kjær tipo 2607 y grabador Nagra para registro analógico, y para el registro digital se utilizó una placa de sonido Sound Blaster de 16 bits.

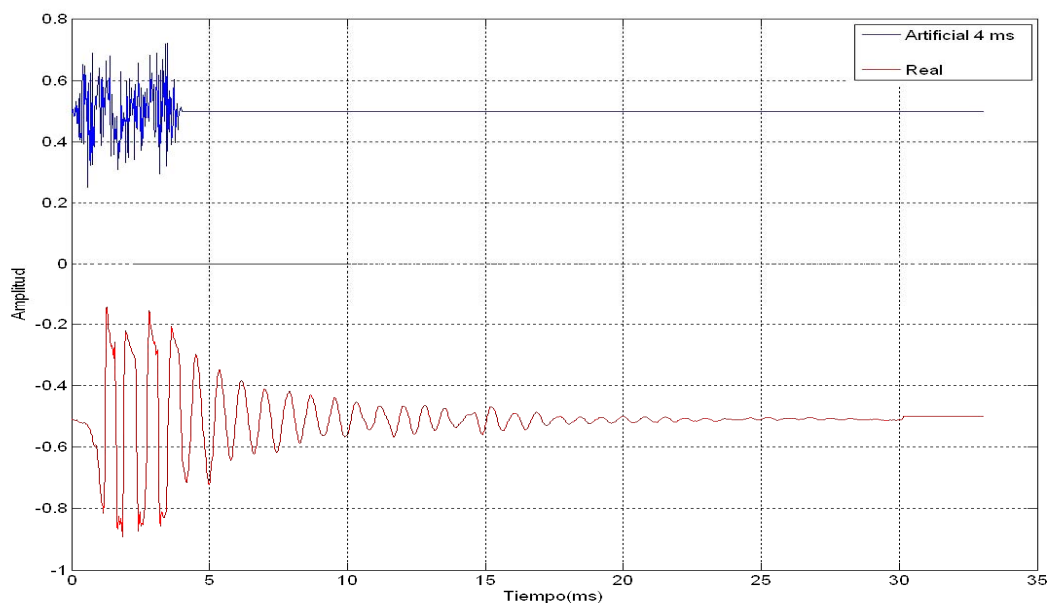


Figura 1a. Tipos de estímulos: en azul, burst de ruido de banda ancha de 4 ms y en rojo, señal real de ecolocación.

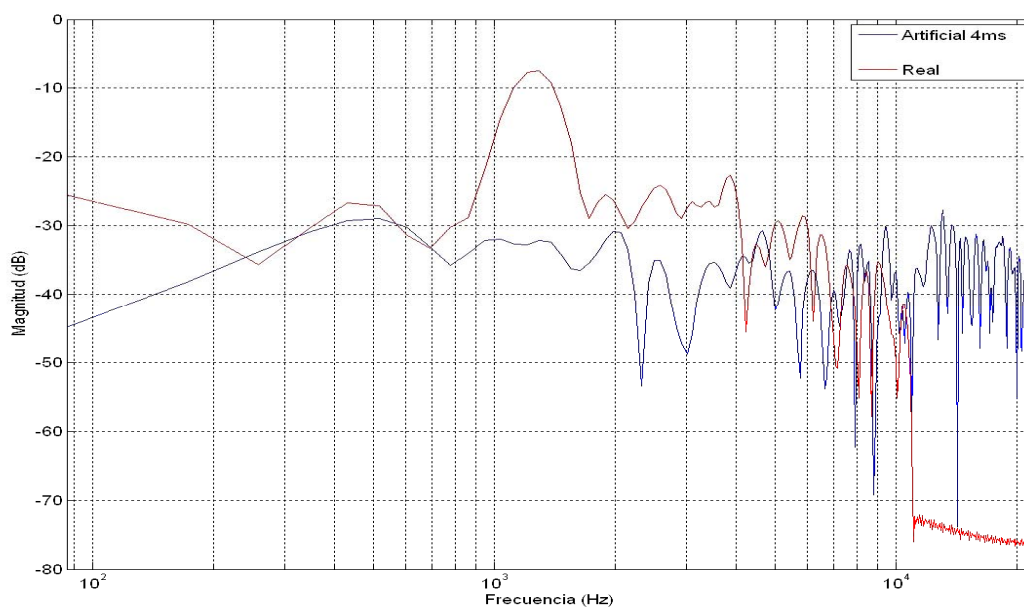


Figura 1b. Espectros de los estímulos.

Ambos estímulos fueron generados y/o reproducidos por computadora mediante una placa de sonido (Sound Blaster PCI512) y presentados con una relación señal/ruido (ruido de fondo de la sala) superior a 20 dB en el ancho de banda utilizado (medido con medidor de nivel sonoro Brüel & Kjær tipo 2250 ubicado en la posición aproximada donde iba a estar la cabeza del participante).

La señal líder se presentaba por un parlante posicionado a 0° del plano azimutal y la retardada, luego de retardos variables, se presentaba por un parlante ubicado a la derecha del participante (30°).

Se obtuvieron umbrales para cada señal, en cada uno de los siguientes cinco retardos: 2, 4, 6, 8 y 10 ms, con 10 repeticiones por retardo, esto es, 100 ensayos en total presentados al azar (2 estímulos x 5 retardos x 10 repeticiones).

Se evaluaron a 11 adultos ciegos con la tarea de escuchar el estímulo y responder verbalmente -durante la pausa de 2.5 segundos que había entre ensayo y ensayo- “Uno” cuando escuchaba un sólo sonido, o “Dos” cuando percibía dos sonidos. Siguiendo el procedimiento clásico, se le explicaba por consigna que en cada ensayo siempre se presentaban dos sonidos aunque muy brevemente separados uno del otro, por lo que a veces, podía percibirlos como uno solo. Por ello: a) se le pedía expresamente que respondiera con absoluta veracidad según lo que realmente escuchaba y b) no recibía retroalimentación.

3.2 Umbral de eco con auriculares

Esta prueba se llevó a cabo en la cámara silente del CINTRA, utilizando el *ECOTEST_{pro}* para su implementación. Se trata de una aplicación que permite en forma rápida, sencilla y eficiente construir y administrar pruebas psicoacústicas específicas. Posibilita además, crear señales artificiales y capturar señales reales de ecolocación para configurar los estímulos, los que se organizan en librerías. Esta nueva versión funciona bajo plataforma Windows y trabaja con cualquier placa de sonido de 16 bits compatible con este sistema operativo. Presenta mejoras sobre versiones anteriores; entre otras: creación de estímulos y armado de pruebas utilizando una interfase gráfica intuitiva sin escribir ninguna línea de programa; implementación de paradigmas psicoacústicos modernos (por ejemplo, pruebas determinísticas y adaptivas para cálculo de umbral); control de todos los parámetros de los estímulos de ecolocación (Ramos y Arias, 1997).

El estímulo sonoro (par único líder-retardada) fue configurado según el estímulo II de Tollin y Henning (1998) con bursts de ruido blanco de 1 ms de duración con 0 ms de subida-bajada (Figura 2). La señal líder (par diótico; $ITD_L = 0 \mu s$) se escuchaba como proveniente del centro de la cabeza mientras que la retardada (par dicótico; $ITD_R = 249 \mu s \equiv 30^\circ$), luego de retardos variables, se escuchaba proveniente de la derecha. Cada ensayo consistía en la presentación de tres estímulos idénticos separados por pausas de 500 ms, siendo el retardo el único parámetro que se variaba de ensayo en ensayo.

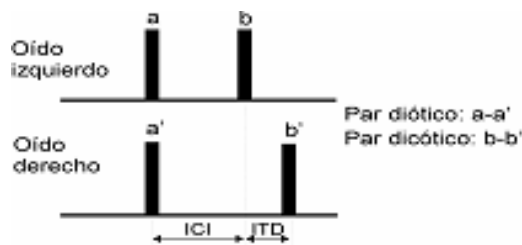


Figura 2. Estímulo II de Tollin y Henning (1997)

Se obtuvieron umbrales para los siguientes ocho retardos: 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12 y 15 ms, con 10 repeticiones por retardo, esto es, 80 ensayos en total presentados al azar (8 retardos x 10 repeticiones). Además, con el objeto de indagar acerca de la influencia de la separación espacial entre líder-retardada sobre el percepto fusión, se realizaron mediciones adicionales con los mismos retardos y repeticiones, para $ITD_R = 0 \mu s$ (al frente) y $-249 \mu s$ (a la izquierda).

Se evaluaron 9 de las 11 personas ciegas que habían participado en la prueba anterior, con idéntica consigna. La tarea consistía en escuchar el estímulo a través de auriculares de calidad (Sennheiser HDA 200) y responder -durante la pausa entre ensayos y valiéndose de teclas específicas del teclado de la PC- “Uno” cuando escuchaba un sólo sonido, o “Dos” cuando percibía dos sonidos.

Se calcularon en cada prueba y en cada condición experimental, el porcentaje promedio de ensayos con respuesta “Dos sonidos”, en función de los retardos utilizados y se graficó la función psicométrica correspondiente, eligiendo el 70.7% de ensayos donde la retardada es claramente audible (respuesta “Dos sonidos”), como el criterio para determinar el UE.

4 Resultados y conclusiones

En las Figuras 3 y 4, se muestra el porcentaje de ensayos en que los participantes respondían que escuchaban dos sonidos, graficado en función de los retardos, para campo libre y con auriculares, respectivamente.

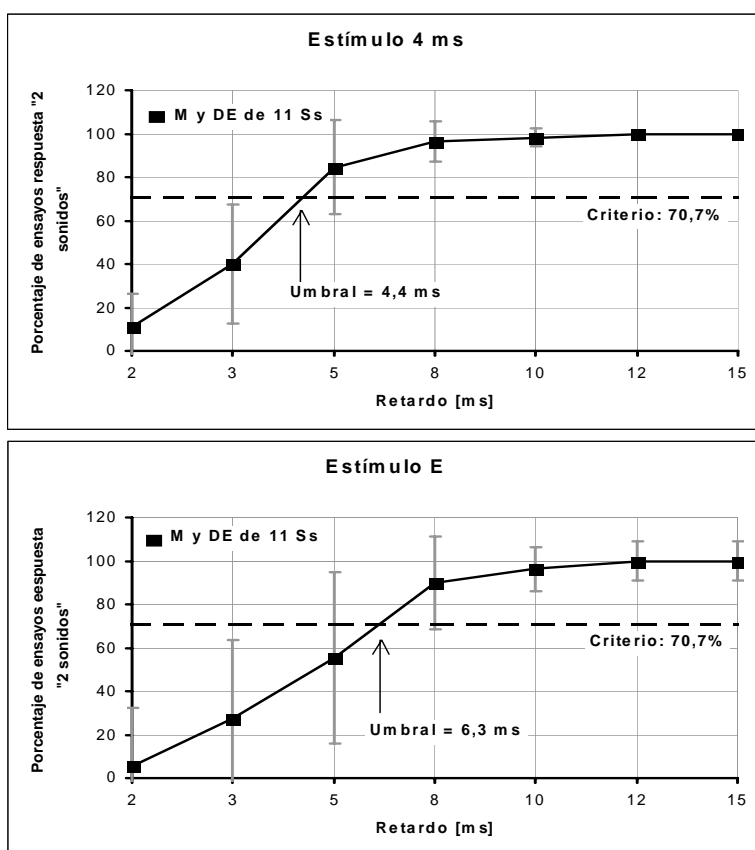


Figura 3. Fusión en campo libre. Porcentaje de ensayos con respuesta “Dos sonidos” según retardos para los estímulos 4ms y E.

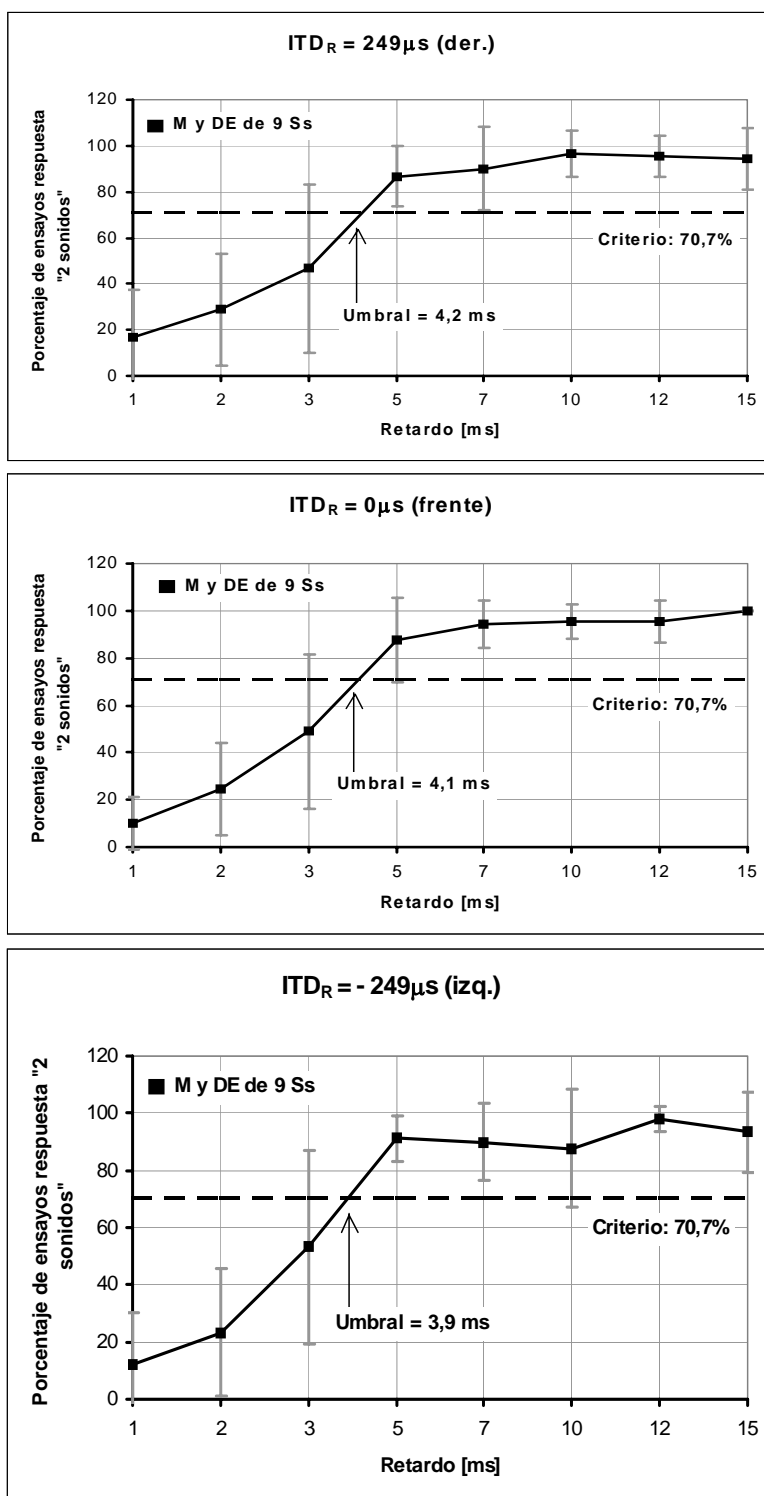


Figura 4. Fusión con auriculares. Porcentaje de ensayos con respuesta “Dos sonidos” según retardos para ITD_{Lider} = 0 μs e ITD_{Retardada} = 249 μs (der.), 0 μs (frente), -249 μs (izq.).

Puede observarse un comportamiento promedio muy similar en ambas condiciones de presentación de los estímulos (campo libre y auriculares): en general, la señal líder se fusiona con la retardada para retardos cortos (< 5 ms). La fuerza de la fusión disminuye a medida que la separación temporal entre ambas es mayor, hasta que se escuchan claramente dos sonidos (cercano al 100%) para retardos que exceden un determinado valor (> 7 ms).

El UE promedio de los sujetos ciegos en campo libre para el estímulo de menor duración (4 ms), fue de 4 ms y de 6 ms para el estímulo real de ecolocación, E (Figura 1). Cuando los umbrales se midieron con auriculares, el UE promedio fue de 4 ms, independientemente de la dirección izquierda, centro o derecha, de donde se escuchaba que provenía la señal retardada (Figura 4).

5 Discusión

El fenómeno de fusión es un efecto perceptual que no deja de sorprender ya que, para retardos breves entre el sonido directo y su reflexión -a pesar de la presencia física de una o más reflexiones igualmente intensas- la persona escucha un único evento auditivo fusionado. Resulta muy útil para evitar las múltiples imágenes auditivas que se generan en ambientes cerrados a causa de las reflexiones del sonido original en paredes, techo, piso y objetos. De no existir fusión, sería en extremo difícil y por demás extenuante, movilizarse en espacios cerrados plenos de información sonora conflictiva.

Los resultados obtenidos por las personas ciegas que participaron en las pruebas que se describen en este artículo, concordaron en general con investigaciones previas: a retardos cortos (< 5 ms) los sujetos escucharon una imagen sonora fusionada y, a medida que estos se incrementaron, emerge la segunda fuente. El UE promedio en todas las condiciones experimentales fue de 4 ms, a excepción del UE un poco más alto de 6 ms para el estímulo E.

Es interesante remarcar los siguientes aspectos:

1) Los sujetos ciegos obtuvieron umbrales bajos, independientemente del tipo de estímulo utilizado, la separación espacial entre líder-retardada y la condición en que fueron presentados los estímulos. Todos obtuvieron UEs ≤ 5 ms, a excepción de tres sujetos: uno de ellos obtuvo umbrales de 7 ms con los dos estímulos en campo libre; otro obtuvo 7 ms sólo con el estímulo E en campo libre y el otro, obtuvo umbrales de 7 y 9 ms (con el estímulo 4 ms y E, respectivamente) en campo libre y de 7 ms en la condición con auriculares para ITD_R 249 μ s. Además, cinco de los nueve sujetos que resolvieron las dos pruebas de fusión, obtuvieron UE ≤ 3 ms en al menos una de las cinco condiciones experimentales.

Se observó poca variabilidad en los UEs obtenidos por los sujetos ciegos, lo cual apunta en dirección similar al estudio de Seki, Ifukube y Tanaka (1994) -sus dos sujetos ciegos fueron más resistentes a la fusión que los tres sujetos con visión normal con los que trabajaron- aunque no acuerda con la mayoría de los estudios que evaluaron sujetos con audición y visión normales. Por ejemplo, se ha informado variabilidad significativa en la fuerza de la fusión con auriculares: algunos sujetos escuchaban dos sonidos para retardos cortos (2 - 4 ms) mientras que otros, seguían experimentando fusión más allá de 10 ms (Clifton y Freyman, 1989; Clifton, Freyman, Litovsky y McCall, 1994). En el estudio de referencia, cinco de los seis sujetos que participaron, obtuvieron umbrales que cayeron dentro o cerca del rango 5 - 10 ms aunque el sexto sujeto, obtuvo un umbral de 40 - 50 ms. Las autoras sostienen que, al no existir estudios poblacionales, es prematuro descartar la posibilidad de que el rango normal de los UEs para estímulos click, puedan extenderse hasta 50 ms, al menos cuando se los mide con auriculares (Litovsky y Shinn-Cunningham, 2001).

2) No se observó efecto de la separación espacial entre líder-retardada sobre los UEs de los sujetos ciegos obtenidos con auriculares (obtuvieron idéntico UE promedio = 4 ms para

las situaciones en las que la retardada se escuchaba proveniente de la izquierda, del frente o de la derecha). Tampoco este resultado acuerda con el hallazgo de Litovsky y Colburn (1998), quienes informaron que la separación espacial entre líder y retardada reduce significativamente el umbral, aunque estos autores trabajaron con modelos animales abarcando un mayor rango de separación espacial que el que se utilizó en este estudio.

3) No se observó efecto del tipo de estímulo sobre los UEs de los participantes ciegos - i.e., obtuvieron similar UE promedio con los tres estímulos utilizados (UE para estímulos 4 ms y 1 ms = 4 ms; UE para estímulo E = 6 ms). Como se recordará, los estímulos de 4 ms y 1 ms fueron pulsos angostos (burst de ruido) de banda ancha (500 a 8500 Hz). El estímulo E, por su parte, también fue una señal impulsiva aunque de más larga duración (30 ms) y de banda angosta (entre 1060 y 1426 Hz; máxima energía centrada en 1260 Hz); de allí su característica tonal. Este resultado no apunta en la misma dirección que resultados experimentales que indican que los UEs son más bajos para estímulos breves que para los de más larga duración, como ruido y lenguaje hablado (Litovsky, Colburn, Yost y Guzman, 1999). Es posible que las características físicas y la “cola temporal” con muy poca energía del estímulo E puedan dar cuenta de este resultado.

Referencias

- Arias, C. (1989). “Human Echolocation: studies of the obstacle perception processes in visually impaired people”. *Journal of visual impairment and blindness*, 83(9), 479-482.
- Arias, C. (2008). “Ecolocación Humana: el color del eco”. *Actas FIA 2008*.
- Arias, C. (2009c). “Simposio: Ecolocación humana en el contexto de cambios paradigmáticos en Psicología”. *Actas XII Reunión Nacional y I Encuentro Internacional de la Asociación Argentina de Ciencias del Comportamiento. Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*: 29-33.
- Arias, C. (2009a). “Ecolocación humana y Efecto precedente”. Tesis doctoral (no publicada). Facultad de Psicología. Universidad Nacional de Córdoba.
- Arias, C.; Curet, C.A.; Moyano, H. F.; Jockes, S.; Blanch, N. (1993a). “Echolocation: A study of auditory functioning in blind and sighted subjects”. *Journal of visual impairment and blindness*, 87(3), 73-77.
- Arias, C.; Ramos, O.A. (1997). “Psychoacoustics tests for the study of the human echolocation ability”. *Applied Acoustics*, 51 (4), 399-419.
- Arias, C.; Ramos, O. A. (2001). “Ecolocación humana a distancias cercanas: posibles mecanismos psicoacústicos subyacentes”. 28° Congreso Interamericano de Psicología. SIP 2001, resumen. Santiago de Chile, Chile.
- Arias, C.; Ramos O. A. (2003). “Audición espacial en ambientes reverberantes: aspectos teóricos relevantes”. *Revista Interamericana de Psicología / Internamerican Journal of Psychology*, 37 (2), 371-380.
- Arias, C.; Ramos, O.; Hüg, M.; Ortiz Skarp, A.H.; Bermejo, F.; Gómez, m.c. (2007). “Movimientos de cabeza para localizar sonidos directos”. *Memorias de las XIV Jornadas de Investigación. Tercer Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur. ISSN 1667-6750. Tomo II, páginas 341-343. Facultad de Psicología, UBA. Buenos Aires, Argentina.*
- Arias, C.; Ramos, O.A.; Ortiz Skarp, A.H.; Hüg, M. (1999). “¿Visión facial o audición facial?”. XXVII Congreso Interamericano de Psicología, resumen. Caracas, Venezuela.
- Arias, C.; Ramos, O.A.; Ortiz Skarp, A.H.; Hüg, M.; Gómez, C.; Bermejo, F.; Tommasini, F.; Esquinas, P.; Barrera, F. (2007). “Movimientos de cabeza para localizar sonidos reflejados”. En *Avances en Investigación en Ciencias del Comportamiento en Argentina. Compilado por Mirta Susana Ison y María Cristina Richaud. 1ª ed. Tomo II, p: 903-920. Mendoza: Editorial Universidad del Aconcagua. ISBN: 978-987-23232-7.*

Arias, Ramos, Ortiz Skarp, Hüg, Céspedes Daza y Heredia (2004). "Ecolocación humana: medición de tres perceptos involucrados en el efecto precedente". Informe final PID SECyT, UNC (Res. Rect.1551/03).

Bermejo, F., Gómez, C. and Arias C., (2008). "Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos y reflejados en participantes entrenados y no entrenados". Revista Tesis. Editorial: Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. Volumen 1: 31 – 43.

Blauert, J. (1997). "Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization". Revised Edition. The MIT Press, Cambridge, MA.

Clarkson, M.G.; Clifton, R.K. (1991). "Acoustic determinants of newborn orienting". In Newborn attention. Biological constraints and the influence of experience. Edited by M.J. Salomon Weissand P.R. Zelazo. Ablex Publishing Corp. Norwood.

Clifton, R. K.; Freyman, R. L. (1989). "Effect of click rate and delay on breakdown of the precedence effect". *Percept. Psychophys.*, 46 (2), 139-145.

Clifton, R. K.; Freyman, R. L.; Litovsky, R.Y.; McCall, D. (1994). "Listener's expectations about echoes can raise or lower echo threshold". *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(3), 1525-1533.

Freyman, R. L.; Clifton, R. K.; Litovsky, R. Y. (1991). "Dynamic processes in the precedence effect". *Journal of the Acoustical Society of America*, 90, 874-884.

Freyman, R. L.; McCall, D. M.; Clifton, R. K. (1998). "Intensity discrimination for precedence effect stimuli". *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 2031-2041.

Gardner, M. B. (1968). "Historical background of the Hass and/or precedence effect stimuli". *Journal of the Acoustical Society of America*, 43 (6), 1243-1248.

Hüg, M.X.; Arias, C. (2005). "Movimientos de orientación hacia el sonido en neonatos e infantes con visión normal y ciegos". Memorias de las XII Jornadas de Investigación. Primer Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur. ISSN 1667-6750. Tomo III, páginas 289-292. Facultad de Psicología, UBA. Buenos Aires, Argentina.

Litovsky, R.Y. (1997). "Developmental changes in the precedence effect: Estimates of Minimal Audible Angle". *Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 1739-1745.

Litovsky, R.Y.; Colburn, H.S. (1998). "Precedence effects in the azimuthal and sagittal planes". *Journal Neurophysiology*, 77, 2223-2226.

Litovsky, R.Y.; Colburn, H.S.; Yost, W.A.; Guzman, S.J. (1999). "The precedence effect". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106 (4), pp. 1633-1654.

Litovsky, R. Y.; Shinn-Cunningham, B. G. (2001). "Investigation of the relationship among three common measures of precedence: fusion, localization dominance, and discrimination suppression". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 1, 346-358.

Ramos, O. A.; Arias, C.; Ortiz Skarp, A. O.; Frassoni, C. (2001). "Echoes in the dark". 17^o Internacional Congress of Acoustics, ICA. Rome, Italy.

Saberi, K.; Perrott, D.R. (1990). "Lateralization thresholds obtained under conditions in which the precedence effect is assumed to operate". *Journal of the Acoustical Society of America*, 87 (4), 1732-1737.

Schenkman, B. (1985). "Human echolocation: the detection of objects by the blind". Doctoral Dissertation Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala.

Seki, Y.; Ifukube, T.; Tanaka, Y. (1994). "Relation between Reflected Sound Localization and the Obstacle Sense of the Blind". *The Journal of Acoustical Society of Japan*, 50, 4, 289-295.

Tollin, D.J.; Henning, G.B. (1998). "Same aspects of the lateralization of echoed sound in man. I. The classical interaural-delay based precedence effect". *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 5, 3030-3038.

Wallach, H.; Newman, E. B.; Rosenzweig, M. R. (1949). "The precedence effect in sound localization". *American Journal Psychology*, LXII (3), 315-336.

Yost, W.; Soderquist, D. R. (1984). "The precedence effect: Revisited". *Journal of the Acoustical Society of America*, 76(5), 1377-1383.