

EFEECTO PRECEDENTE EN PERSONAS CIEGAS Y CON VISIÓN NORMAL

Claudia Arias^{a,b}, Aldo H. Ortiz Skarp^a, Mercedes X. Hüg^{a,b}, Fernando Bermejo^{a,b}

^a*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, FRC, UTN – UA CONICET
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, M. M. López esq. Av. Cruz Roja
Argentina, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina, carias@scedt.frc.utn.edu.ar,
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>*

^b*Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, Enrique Barros esq. Enfermera Gordillo,
Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina, www.psychology.unc.edu.ar*

Palabras claves: Localización sonora, Efecto precedente, Ecolocación humana, Ceguera

Resumen

El conocimiento sobre audición, en su mayor parte, está relacionado con el procesamiento periférico realizado en el oído y deviene de estudios llevados a cabo en condiciones artificiales: con auriculares o en cámara anecoica, donde el sonido viaja en línea recta desde la fuente al sujeto, sin que además, éste pueda ejercer control alguno sobre el mismo. Sin embargo, el ser humano pasa la mayor parte del tiempo en lugares cerrados donde el sonido se propaga en múltiples direcciones y es muy frecuente además, que genere sonidos para obtener información. Éstos tienen dos características fundamentales: a) el sujeto los manipula y controla y b) el sonido autogenerado llega a los oídos dos veces: directamente de la fuente y nuevamente cuando se refleja en las superficies cercanas. Actualmente existe un creciente interés por estudiar el efecto que tienen las reflexiones en la localización de sonidos y por comprender cómo el sistema auditivo resuelve la competencia perceptual que se produce entre el sonido original y sus reflexiones en los ambientes reverberantes.

El efecto precedente es una estrategia inconsciente utilizada para resolver la información sonora conflictiva de los ambientes cerrados. Se lo refiere como un fenómeno de fusión y dominancia del sonido que llega primero (i.e., líder) y se lo describe como un mecanismo supresor de ecos que le ayudaría al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria, al atribuirle un fuerte pesaje al sonido directo y reducir la influencia de los sonidos retardados (reflexiones). Hallazgos recientes, sin embargo, demuestran que el sistema auditivo no elimina sino que mantiene la información direccional contenida en las reflexiones aunque se produzca fusión y dominancia del líder. Ciertos cambios en el ambiente acústico liberan el mecanismo de supresión, con lo cual se hace posible extraer información espacial del sonido retardado.

Con el propósito de estudiar posibles relaciones entre el efecto precedente y la ecolocación humana a distancias cercanas –habilidad que implica generar información ecoica con sonidos propios para localizar y reconocer objetos silentes que no pueden verse– implementamos dos pruebas de localización y lateralización sonora bajo condición de precedencia y las administramos a participantes ciegos con buena habilidad de ecolocación y participantes con visión normal.

En el presente artículo exponemos aspectos teóricos y metodológicos pertinentes y discutimos los resultados obtenidos a la luz de los análisis físicos de los estímulos sonoros utilizados y de recientes hallazgos experimentales sobre la temática en cuestión.

1 – INTRODUCCIÓN

La historia de las ciencias pone en evidencia el hecho de que no sólo se han generado conocimientos sino también sesgos que tendencian los fenómenos bajo estudio. Por ejemplo, la mayor parte del conocimiento sobre el sentido de la audición está referido al procesamiento periférico realizado por el oído y deviene de estudios realizados en condiciones artificiales muy diferentes a las de la vida real.

Desde nuevos enfoques teóricos de la audición, se considera que la función primordial del sistema auditivo es determinar características de la fuente sonora, a partir de la información contenida en los sonidos que ella produce ([Yost, 1991](#); [Bregman 1992](#); [McAdams, 1992](#)). Es una habilidad crucial utilizada regularmente, aunque ha recibido escasa atención científica. Resulta absolutamente notable, si se toma en cuenta la física del sonido y la forma como opera el sistema auditivo periférico. En otras palabras, debido a las características peculiares que tiene el sonido, el individuo puede localizar, reconocer e identificar la fuente que lo produce. El oído extrae información sobre las dimensiones físicas del sonido (frecuencia, duración, intensidad), mientras que el sistema auditivo central extrae información de las dimensiones físicas de la fuente (posición, distancia, naturaleza). De esta manera, el centro de interés de las Ciencias Acústicas se ha desplazando desde los aspectos psicoacústicos de los fenómenos auditivos a los aspectos cognitivos y ecológicos de la audición, que estudian habilidades del sujeto para funcionar acústicamente en la vida diaria ([Masterton, 1992](#)).

Con el propósito de analizar posibles relaciones entre el efecto precedente, esto es, la estrategia inconsciente utilizada por el individuo para resolver el conflicto perceptual entre el sonido directo y sus reflexiones que ocurre en ambientes cerrados, y la ecolocación humana a distancias cercanas –habilidad que implica generar información ecoica con sonidos propios para localizar y reconocer objetos silentes que no pueden verse– implementamos dos pruebas de localización y lateralización sonora bajo condición de precedencia. Las mismas fueron administradas a participantes ciegos con buena habilidad de ecolocación y participantes con visión normal en condiciones experimentales particulares. Exponemos seguidamente aspectos teóricos y metodológicos pertinentes para luego discutir los resultados obtenidos a la luz de recientes hallazgos experimentales sobre la temática en cuestión.

2 – CONSIDERACIONES TEÓRICAS

2.1 Localización de sonidos directos y reflejados

El sistema auditivo es un sofisticado procesador espacial que le permite al organismo detectar y monitorear las posiciones de objetos sonoros facilitándole además, la identificación de los mismos. Una persona normal tiene una inmediata apreciación del espacio auditivo en el sentido de que su orientación hacia el evento sonoro es natural, rápida y exacta, a pesar que la agudeza auditiva espacial en los humanos es pobre comparada con la agudeza visual, la que es óptima sólo dentro de unos pocos grados de la línea de mirada. En contraste, la modalidad auditiva provee información espacial de eventos remotos en el campo del escucha sin importar la orientación (línea de mirada) de la persona. Además, a diferencia de la luz que viaja en línea recta, los sonidos se propagan alrededor de la mayoría de los objetos por lo que alguna información espacial sobre un objeto o evento sonoro estará disponible para el escucha aún cuando no pueda verlo. Es decir que en situaciones de alta incertidumbre espacial, esto es, cuando un observador puede no saber para dónde mirar, la potencia del sistema auditivo para proveer información espacial útil, es excelente.

La habilidad del hombre para localizar fuentes sonoras es muy precisa, aún en situaciones adversas como por ejemplo, con sonidos muy breves o en espacios reverberantes. La

localización sonora implica la percepción de la posición de la fuente en el plano horizontal y en el vertical y a la percepción de su distancia relativa.

Las claves principales para determinar la posición de una fuente sonora son: a) la diferencia interaural en el tiempo de arribo del sonido a los dos oídos, ITD (según sus siglas en inglés); b) la diferencia interaural en el nivel sonoro, ILD (idem anterior) y c) el efecto de filtraje (depende de la posición de la fuente) que ocurre debido a la interacción del sonido con los pliegues del pabellón auricular, cabeza, torso y hombros, lo cual modifica el contenido espectral del sonido. Las dos primeras determinan la posición en el plano horizontal y la información espectral contenida en el filtraje mencionado, lo hace en el plano vertical. Específicamente la oreja, por poseer características morfológicas particulares para cada individuo, es una clave monoaural fundamental en la localización de fuentes sonoras ubicadas en el plano medio sagital donde no existen diferencias binaurales. Los pliegues del pabellón reflejan algunos componentes en frecuencia y cuando la fuente cambia de posición con respecto a la cabeza, se producen cambios concomitantes en esas reflexiones, por ejemplo, se disminuye la intensidad de algunos componentes y se amplifican otras ([Blauert, 1997](#)).

La percepción de la distancia está regida por un conjunto de claves que incluyen indicios de intensidad, reverberación y contenido espectral del objeto sonoro. Otros factores como la experiencia, el aprendizaje e influencias visuales y propioceptivas influyen en la percepción del espacio auditivo. Se ha demostrado que cuando el sujeto se mueve libremente, tal como lo hace en la vida cotidiana, su rendimiento para localizar sonidos se vuelve especialmente eficiente, sobre todo en situaciones ruidosas o para resolver confusiones adelante-atrás ([Loomis et al., 1992](#); [Ashmead et al., 1995](#)).

En los estudios de localización sonora los estímulos se presentan según dos condiciones experimentales: 1) en campo libre, donde el estímulo se pasa a través de un conjunto de altavoces apareados dispuestos según un determinado arreglo espacial; 2) a través de auriculares, con la ventaja indiscutible de que puede ejercerse un mayor control de los parámetros del estímulo aunque, si no se usan principios de Realidad Virtual, los sonidos se escuchan como si se originaran dentro de la cabeza. [Plenge \(1974\)](#) ha denominado internalización de la imagen sonora, a tal percepción dentro de la cabeza de sonidos presentados a través de auriculares. La posición donde se ubica la imagen sonora, a lo largo de una línea imaginaria trazada entre los oídos, se denomina lateralización de la imagen. Por el contrario, cuando el estímulo se presenta a través de altavoces, el sujeto percibe que el sonido proviene desde algún lugar situado en el espacio externo, fuera de la cabeza, por lo que se denomina esta percepción, externalización de la imagen sonora. La posición subjetiva o aparente se denomina localización.

Por otra parte, la mayoría de los estudios de localización sonora han sido realizados 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 este tipo de ambiente, 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. 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 Efecto precedente

El efecto precedente es una estrategia utilizada de manera inconsciente por el individuo, para enfrentar la información sonora conflictiva de los ambientes cerrados. 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 ([Blauert, 1997](#)).

En la mayoría de los estudios sobre efecto precedente, se utiliza la señal líder-retardada como estímulo o un par de clicks que simulan un sonido original y su reflexión (se corresponde con la cupla directa-reflejada del paradigma de ecolocación, ver próximo punto). Aunque difiere en varios sentidos de la realidad, se sostiene que estas configuraciones optimizadas, que minimizan la complejidad de los estímulos, aunque no sean reales, son esenciales como un primer paso para comprender los procesos auditivos básicos del efecto precedente.

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 los experimentos de fusión se pregunta a los sujetos (Ss) cuántos sonidos escucha y las mediciones se repiten para varios retardos entre líder-retardada. Los mismos se simbolizan con la sigla ICI, por las palabras en inglés “interclick interval” y se corresponden con el retardo (τ) entre directa y reflejada del paradigma de ecolocación. El percepto de dominancia 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 lo indique a través de algún procedimiento específico (por ejemplo, el método de ajuste o el método con puntero acústico: se trata de un estímulo cuyos parámetros manipula el sujeto para “apuntar” hacia la posición percibida). El tercer percepto –especialmente involucrado en la ecolocación– se refiere a la habilidad para procesar la información direccional contenida en el sonido retardado. La tarea que debe realizar el sujeto, implica extraer información de un sonido que no es audible como evento separado ([Litovsky et al., 1999](#); revisión en castellano: [Arias y Ramos, 2003](#)).

2.3 Ecolocación humana

El estudio de la audición, tanto desde el enfoque tradicional como desde los nuevos abordajes ecológicos, está referido a la percepción de sonidos directos que no están bajo el control del sujeto. En la mayoría de los estudios de audición, no se permite a los participantes generar sonidos o los sonidos que producen espontáneamente se consideran irrelevantes para el fenómeno bajo estudio. Sin embargo, es frecuente y cotidiano que la persona genere sonidos para obtener información. Los sonidos autoproducidos tienen dos características fundamentales: (1) el sujeto los controla y manipula y (2) el sonido autogenerado llega a los oídos dos veces: directamente de la fuente (ej., el pie) y nuevamente cuando se refleja en las superficies del entorno.

La extraordinaria habilidad de murciélagos y delfines para procesar ecos a partir de los sonidos propios es un ejemplo contundente de las posibilidades implicadas en el uso de sonidos autoproducidos. Cabe aclarar que el objeto que genera la reflexión o el eco (ej., una polilla en el caso del murciélago) es tratado como fuente sonora secundaria biológicamente

relevante, con lo cual se considera que la ecolocación constituye una particularidad del proceso de determinación de la fuente sonora primaria. En este caso, la información acerca del sistema animal-ambiente se obtiene de un estímulo relacional único, la cupla directa-reflejada. La energía del estímulo generada por el individuo (directa) se propaga en el ambiente, es estructurada por éste, para luego retornar al receptor (reflejada). La información relevante se encuentra en las relaciones que se establecen entre los patrones de salida y de regreso ([Stoffregen y Pittenger, 1995](#)).

Los humanos también poseen esta habilidad, la que se inscribe en el área escasamente estudiada aunque ciertamente promisoría de los procesos percepto-cognitivos de audición cotidiana. Implica autoproducir sonidos con el propósito específico de obtener información ecoica para detectar, localizar y reconocer objetos silentes que no pueden verse. La habilidad de ecolocación resulta crucial para el logro de la movilidad independiente de la persona ciega, uno de los aspectos más afectado por la ceguera. En la actualidad, se ha renovado y acrecentado el interés científico por este complejo e intrigante fenómeno perceptual que ha adquirido valor paradigmático como ejemplo de fenómeno de percepción-acción, a la luz de los enfoques de cognición corporizada ([Arias et al., 2010](#), primera parte; [Arias et al., 2011](#) segunda parte). Merece destacarse además, el compendio de investigaciones desde varios campos disciplinares sobre ceguera y plasticidad cerebral en Orientación y Movilidad y en reconocimiento de objetos, de muy reciente aparición ([Rieser et al., 2008](#); artículo de recensión, [Bermejo y Arias, 2011](#)).

Se han descripto dos modalidades complementarias de ecolocación: a larga distancia (entre 2 m ó 3 m y 5 m) y a corta distancia (< 2 m ó 3 m). En esta última, la señal directa (ej., chasquidos de dedos, clicks con la lengua, golpeteo del bastón) y la reflejada no se perciben separadas sino fusionadas. Es la modalidad que mayor significación tiene en la vida diaria de una persona ciega, ya que le sirve no sólo para orientarse y desplazarse sino además, para proteger su integridad física al evitar el choque contra los obstáculos del entorno.

Dos fenómenos de fusión auditiva podrían estar involucrados en esta modalidad: la altura tonal de la repetición (RP, por sus siglas en inglés “repetition pitch”) y el efecto precedente ([Arias, 2009a](#)). El fenómeno de RP se produce cuando se escucha un sonido al que se le ha sumado su réplica luego de un breve retardo de tiempo (señal directa y reflejada respectivamente, en una situación ideal de ecolocación). La presencia del objeto podría determinarse por la presencia/cambio de tonalidad de la señal autogenerada mientras que las características del objeto se extraerían de claves temporales y espectrales contenidas en el estímulo fusionado ([Arias y Ramos, 1997](#); [Bassett y Eastmond, 1964](#); [Bilsen y Ritsma, 1969/70](#)). El segundo fenómeno perceptual fue explicado en el punto anterior y ambos en conjunto, lo que se ha dado en llamar el color del eco (Arias, 2008), estarían disponibles en muchas situaciones de ecolocación cotidianas.

3 – MÉTODO

Con el propósito de estudiar posibles relaciones entre el efecto precedente y la ecolocación humana a distancias cercanas, comparamos el rendimiento de participantes con visión normal y ciegos con buena movilidad independiente –que supone buena habilidad de ecolocación– en dos pruebas auditivas especialmente diseñadas de lateralización/localización bajo condición de precedencia.

Los participantes resolvieron individualmente las pruebas en sala semireverberante, en días diferentes previa firma del consentimiento informado. Recibieron retroalimentación de sus respuestas correctas y retribución monetaria por su participación.

3.1 – Prueba de lateralización sonora bajo condición de precedencia

El estudio de [Saberí y Perrott \(1990\)](#) sirvió de base para diseñar e implementar esta prueba que se resuelve con auriculares y mide el tercer percepto del efecto precedente, i.e., supresión de la discriminación de la señal retardada. Los ensayos simulan situaciones optimizadas de ecolocación a distancias cercanas ($\leq 1,50$ m). Por esta razón se utilizan: a) además de estímulos estándares, señales de ecolocación reales en la configuración de los estímulos sonoros y b) retardos (τ) entre la señal directa y la reflejada que se corresponden con distancias cercanas, especialmente aquellos que producen la altura tonal de la repetición (RP) más claramente perceptible: 2 ms = $0,34$ m de distancia entre el sujeto y el obstáculo, y 5 ms = $0,86$ m de distancia S-O (detalles en [Arias, 2009a](#)).

3.1.1 – Participantes

Trabajamos con 30 participantes divididos en 3 grupos: 1) Grupo VNe: 10 Ss con audición y visión normales, ambos sexos, 18 a 25 años de edad, con entrenamiento musical (≥ 12 años). 2) Grupo VNse: 10 Ss con audición y visión normales, ambos sexos, 18 a 25 años de edad, sin entrenamiento musical. 3) Grupo C: 10 Ss con ceguera congénita o adquirida (sin otra patología agregada) y audición normal, ambos sexos, 16 a 28 años de edad, con buen desplazamiento independiente.

Cabe aclarar que la inclusión de personas con y sin entrenamiento musical responde al interés por analizar posibles relaciones entre esta variable –que implica otro tipo de funcionamiento auditivo refinado– y el tema de estudio. El estado auditivo de cada participante fue controlado con audiometría tonal vía aérea para frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. Se incluyeron todas las personas con umbrales auditivos ≤ 20 dB por encima de umbrales normales. Algunas personas ciegas tenían entrenamiento musical, por lo que sus rendimientos fueron inspeccionados exhaustivamente para controlar el posible efecto de esta variable sobre el rendimiento promedio de este grupo.

3.1.2 – Estímulo, diseño y procedimiento experimental

Empleamos dos tipos de señales para configurar los estímulos sonoros: a) *click artificial*: pulso rectangular de 40 μ s de ancho y b) *click real*: señal real de ecolocación (chasquido con la lengua) producida por una persona ciega, que se digitalizó y almacenó en CD en el curso de investigaciones anteriores. Los estímulos consistían en un solo par de clicks (par líder-retardada de los estudios clásicos sobre efecto precedente). Se eligió la configuración tipo II de [Tollin y Henning \(1998\)](#) para simular la siguiente situación particular de ecolocación (Figura 1):

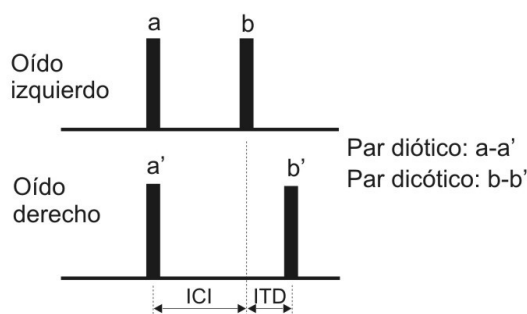


Figura 1: Estímulo tipo II ([Tollin y Henning, 1998](#))

El objeto está ubicado en el plano horizontal desplazado del plano medio sagital (azimut $\neq 0^\circ$) y la persona ciega genera un chasquido con la lengua. Este click (directo o líder) le llega a ambos oídos al mismo tiempo, debido a la posición de la boca (fuente primaria) con respecto a los oídos (par diótico a-a'). Cuando el click se refleja en el objeto (fuente secundaria), se genera la señal reflejada del paradigma de ecolocación, que llegará a ambos oídos con una breve diferencia de tiempo (ITD) (par dicótico b-b'), por lo que en este par está contenida la información espacial que permitirá localizar el objeto.

La representación esquemática de los estímulos presentados en cada ensayo se muestra en la Figura 2.

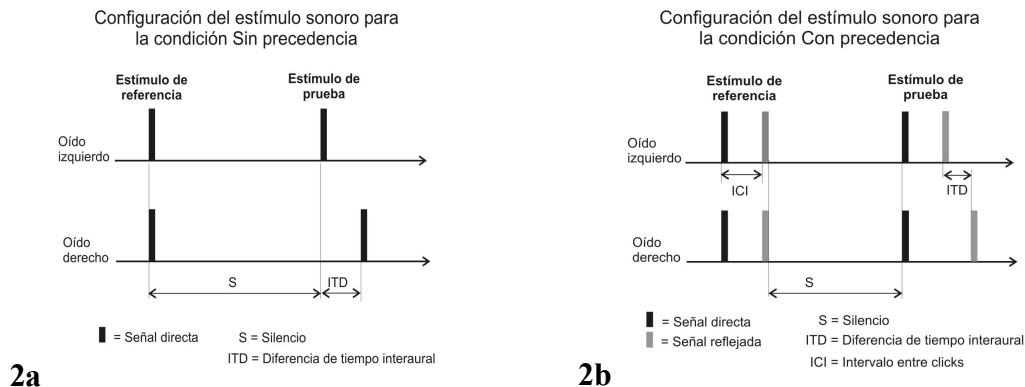


Figura 2: Representación esquemática de ensayos según Condición de Precedencia

Se presentaba el estímulo de referencia (R), luego 300 ms de silencio (S) y finalmente el estímulo de prueba (P). La duración de cada estímulo fue de 20 ms y el nivel sonoro de 70 dB lineales. El estímulo de referencia, compuesto por un par de clicks con ICI 2 ms ó 5 ms e ITD = 0, simulaba un obstáculo ubicado enfrente del participantes a la altura del rostro. El estímulo de prueba, compuesto por un par de clicks con ICI 2 ms ó 5 ms e ITD = 50 μ s ó 100 μ s ó 200 μ s ó 500 μ s, simulaba un obstáculo desplazado a la derecha o a la izquierda de la línea media en el plano azimutal. Traducidos en grados, los ITD's considerados corresponden aproximadamente a 5°, 10°, 25° y 55°, respectivamente ([Woodworth y Schlosberg, 1954](#)) (Figura 2b). También se utilizaron estímulos conformados con un solo click con los cuatro ITDs descriptos –o sea, sin el segundo click que simula la reflexión– los que representan la situación control de lateralización sin efecto precedente (sólo sonido directo) (Figura 2a). Se implementó esta prueba con el *ECOTEST* –una de las herramientas diseñadas y construidas por el equipo ([Ramos y Arias, 1997](#)) y se utilizó la Cabeza y Torso Artificial B&K tipo 4128 y los Simuladores de Oído B&K tipo 4158 y 4159, para realizar las mediciones objetivas y el Analizador de Frecuencias doble canal B&K tipo 2144, para analizar los estímulos sonoros. Los auriculares empleados fueron Sennheiser HDA 200.

Como se mencionó, el participante escuchaba a través de auriculares en cada ensayo 2 estímulos sucesivos. El primer estímulo (R) era diótico, lo escuchaba proveniente siempre del medio de la cabeza por lo que le servía de referencia. El segundo era el estímulo dicótico de prueba (P) que lo escuchaba proveniente de dos direcciones posibles solamente: izquierda o derecha. Su tarea consistía en escuchar cada ensayo y responder al finalizar el mismo, "Izquierda", cuando juzgaba que el segundo sonido provenía de la izquierda del primero o "Derecha", cuando juzgaba que el segundo sonido provenía de la derecha del primero.

Las variables PRECEDENCIA (Sin vs. Con efecto precedente), SEÑAL (click artificial vs. click real), ICI (2 ms vs. 5 ms) e ITD (50 μ vs. 100 μ vs. 200 μ vs. 500 μ) definieron las diferentes condiciones experimentales con 4 repeticiones en cada una de ellas. GRUPO (VNe

vs. VNse vs. C) y ORDEN DE PRESENTACIÓN DE LOS ENSAYOS según señal (artificial-real vs. real-artificial) definieron las variables de agrupamiento.

La prueba constaba de 96 ensayos en total agrupados en dos bloques. El primer bloque – Sin efecto precedente (sólo señal directa)– comprendía 32 ensayos (2 x 4 x 4: Señal x ITD x repeticiones). El segundo bloque –Con efecto precedente (directa + reflejada)– constaba de 64 ensayos (2 x 2 x 4 x 4: Señal x ICI x ITD x repeticiones). Se contrabalanceó el orden de presentación de los ensayos según señal y se aleatorizó la presentación de los ensayos dentro de cada bloque. Todos los participantes resolvieron el primer bloque y luego el segundo, siempre en ese orden, en una sola sesión de aproximadamente 40 minutos.

3.1.3 – Método estadístico

El rendimiento del participante se evaluó asignando 1 punto a las respuestas correctas y 0 punto a las incorrectas. Se obtuvieron para cada sujeto: a) puntaje total (Σ de respuestas correctas de los 96 ensayos), b) puntaje subtotal para cada bloque por separado (Σ de respuestas correctas de los 32 ensayos del primer bloque y de los 64 ensayos del segundo) y c) puntaje para cada condición experimental (Σ en repeticiones). Los valores se expresaron en porcentaje y se realizó una transformación de los datos aplicando la fórmula

$$2 \arcsen \sqrt{\frac{\%}{100}} \quad (1)$$

para normalizar la varianza ([Winer, 1962](#)).

Para probar igualdad del rendimiento: a) entre los grupos para los puntajes totales obtenidos, se efectuó un ANOVA bifactorial, siendo los factores de agrupamiento GRUPO (VNe vs. VNse vs. C) y ORDEN DE PRESENTACIÓN (artificial-real vs. real-artificial); b) entre y dentro de los grupos para los puntajes subtotales, se efectuó un ANOVA bifactorial de medidas repetidas siendo el factor de agrupamiento GRUPO y el factor repetido PRECEDENCIA (Sin efecto precedente vs. Con efecto precedente); c) entre y dentro de los grupos para cada nivel de la variable PRECEDENCIA por separado (bloque Sin efecto precedente y bloque Con efecto precedente), se realizaron ANOVAs de 3 y 4 factores, siendo el factor de agrupamiento GRUPO y los factores repetidos para el Bloque Sin efecto precedente: SEÑAL (artificial vs. real) x ITD (50 μ s vs. 100 μ s vs. 200 μ s vs. 500 μ s) y para el Bloque Con efecto precedente: ICI (2ms vs. 5ms) x SEÑAL (artificial vs. real) x ITD (50 μ s vs. 100 μ s vs. 200 μ s vs. 500 μ s). Para los valores F significativos ($p \leq .05$): a) se calculó el estadístico η^2 de proporción de variancia explicada y b) se analizaron con el test post hoc de Duncan ($p \leq .05$).

3.2 – Prueba de localización sonora bajo condición de precedencia

El estudio de [Litovsky \(1997\)](#) sirvió de base para diseñar e implementar esta prueba de localización sonora bajo condición de precedencia en campo libre que mide el segundo y el tercer percepto del efecto precedente. Específicamente obtuvimos con método adaptivo para cada participante, umbrales MAA –estima la más pequeña diferencia lateral en la posición de un sonido que puede ser confiablemente detectada ([Mills, 1958](#))– en varias condiciones experimentales. También analizamos el rendimiento dentro del grupo de participantes ciegos para estudiar la influencia de las variables bajo estudio sobre sus umbrales MAA (detalles del arreglo experimental, las herramientas de investigación y el procedimiento para calcular umbrales en [Arias, 2009b](#)).

3.2.1 – Estímulo y diseño experimental

Los estímulos que denominamos 4ms y 25ms, fueron burst de ruido de banda ancha (500 a 8500 Hz) de 4 ms ó 25 ms de duración, respectivamente, con tiempo de crecimiento-caída de 2 ms. En cada ensayo los burst de ruido fueron independientemente seleccionados de un segmento de ruido pseudo aleatorio generado por la PC. El par líder-retardada de los ensayos de precedencia fue conformado con el mismo burst. El estímulo que denominamos E fue la misma señal real de ecolocación utilizada en la prueba anterior (click con la lengua producido por una persona ciega). Todos los estímulos fueron generados y/o reproducidos por computadora mediante una placa de sonidos y fueron presentados con una relación señal ruido mejor a 20 dB, medida en la posición aproximada donde iba a estar la cabeza del participante.

En la Figura 3 mostramos la secuencia temporal de cada una de las 3 condiciones de precedencia. Cada ensayo consistía en 15 burst de ruido presentados a razón de 2/s.

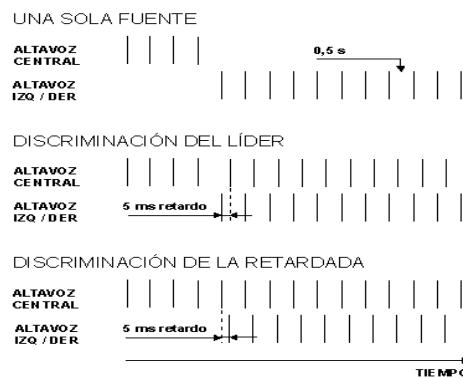


Figura 3: Configuración del estímulo según Condición de precedencia

En la condición control “Sin efecto precedente” (una sola fuente sonora/sonido directo: Única), los primeros 4 burst de ruido fueron presentados desde la línea media, seguidos por 11 burst de ruido presentados desde el parlante de la derecha o de la izquierda. En ambas condiciones “Con efecto precedente” (dos fuentes sonoras), los ensayos también comenzaban con 4 burst de ruido de una sola fuente desde la línea media. En los 11 burst de ruido que seguían, había 2 muestras de ruido por burst (par líder-retardada), con el comienzo de una muestra retardada en 5 ms en relación al comienzo de la otra.

En la condición de precedencia-discriminación del líder (Líder), la fuente líder provenía de la derecha o de la izquierda y la fuente retardada provenía de la línea media. En la otra condición de precedencia-discriminación de la retardada (Retardada), ocurría lo opuesto, o sea que la fuente retardada provenía de la derecha o de la izquierda mientras que la fuente líder provenía de la línea media.

Las variables bajo estudio fueron: GRUPO (Participantes con Visión Normal vs. Participantes Ciegos), ESTÍMULO (4ms, 25ms y E), CONDICIÓN DE PRECEDENCIA (Única vs. Líder vs. Retardada).

3.2.2 – Participantes y tarea

Trabajamos con 42 adultos de ambos sexos con audición normal distribuidos en los siguientes grupos: a) Grupo V4ms: 10 Ss con visión normal evaluados con el estímulo 4ms; b) Grupo V25ms: 10 Ss con visión normal evaluados con el estímulo 25ms; c) Grupo VE: 10 Ss con visión normal evaluados con el estímulo real de ecolocación, E. Estos 30 adultos con

visión normal, cuyas edades estaban comprendidas entre 20 a 30 años de edad, fueron asignados al azar a los grupos y cada uno fue evaluado en las tres condiciones de precedencia (Única, Líder y Retardada), con asignación aleatoria en el orden en que fueron presentadas; d) Grupo C: 12 Ss ciegos, entre 15 y 35 años de edad, cada uno fue evaluado en todas las condiciones experimentales (3 estímulos x 3 condiciones de precedencia), con asignación aleatoria en el orden en que fueron presentadas.

Los criterios de inclusión fueron: a) umbral auditivo normal (pérdidas ≤ 20 dB en las frecuencias 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz; b) diferencia entre ambos oídos ≤ 10 dB; c) resolver correctamente 4 de 5 ensayos consecutivos en un máximo de 10 ensayos de práctica con una sola fuente ubicada a 30° .

El participante conocía por consigna, que el ensayo comenzaba con una secuencia de cuatro sonidos que provenían de la línea media y que siempre se desplazaban en una de dos direcciones posibles: o bien a la derecha, o bien a la izquierda. Su tarea consistía en escuchar el estímulo prestando atención al cambio y señalar con la mano hacia el hemicampo (derecho o izquierdo) al que consideraba que se había desplazado el sonido; debía adivinar cuando no percibía un cambio obvio. Resolvía en primer lugar, los ensayos de práctica explicados más arriba y si cumplía el criterio (c) de inclusión, resolvía la prueba definitiva de manera inmediata.

3.2.3 – Método estadístico

Calculamos medias y desvíos estándar de los umbrales MAA obtenidos por participantes ciegos y con visión normal, para cada tipo de estímulo (25ms, 4ms y E) en cada condición de precedencia (Única, Líder y Retardada). Analizamos la influencia de los diferentes estímulos y condición de precedencia utilizados, sobre los umbrales MAA obtenidos por los participantes ciegos, con un ANOVA bifactorial de medidas repetidas donde las variables Estímulo (4ms vs. 25ms vs. E) y Condición de precedencia (Única vs. Líder vs. Retardada) fueron los factores repetidos. Para probar la igualdad del rendimiento entre y dentro de los grupos para los MAA's obtenidos por los participantes ciegos y con visión normal, efectuamos para cada estímulo por separado, ANOVA's bifactoriales de medidas repetidas siendo el factor de agrupamiento Grupo (Ss con visión normal vs. Ss ciegos) y el factor repetido Condición de precedencia (Única vs. Líder vs. Retardada). Para los valores F significativos en ambos casos ($p \leq .05$): a) calculamos el estadístico η^2 de proporción de variancia explicada y b) los analizamos con el test post hoc de Duncan ($p \leq .05$).

4 – DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Lateralización sonora bajo condición de precedencia

Los participantes ciegos rindieron significativamente mejor que ambos grupos de participantes con visión normal (entre los que no hubo diferencias significativas) en esta prueba, considerando los puntajes totales obtenidos (Grupo: $F_{2,24}=3.96$; $p<.03$; $\eta^2=.25$). La variable Orden de presentación no influyó sobre el rendimiento de los Ss por lo que se la descartó en los análisis posteriores. El análisis del rendimiento entre los bloques Sin y Con precedencia (puntajes subtotales) y dentro de cada uno de ellos por separado (puntajes parciales para cada condición experimental dentro de cada bloque), puso en evidencia que tal superioridad se manifestó sólo en la condición más difícil Con Precedencia (Grupo x Precedencia para puntajes subtotales: $F_{2,27}=6.61$; $p<.00$; $\eta^2=.33$ y Grupo para puntajes parciales bloque Con Precedencia: $F_{2,27}=7.03$; $p<.00$; $\eta^2=.34$). Este hallazgo concuerda con resultados anteriores ([Arias et al., 1993](#), [Arias, 1996](#), [Arias et al., 1997](#)) y con el estudio de

referencia, en relación a un claro efecto de la práctica observado en sus sujetos ([Saberri y Perrott, 1990](#)). Apunta a favor de la hipótesis de aprendizaje perceptual (implícito), la que ha cobrado una nueva dimensión, a partir de la evidencia aportada por los recientes estudios neurofisiológicos sobre sustitución sensorial en personas ciegas y temas relacionados.

El rendimiento significativamente mejor observado en todos los participantes, en el bloque Sin Precedencia respecto del bloque Con Precedencia ($F_{1,27}=203.80$; $p<.00$; $\eta^2=.88$), es un resultado esperado, ya que se ha demostrado ampliamente que resulta más fácil localizar sonidos directos que sonidos directos interactuando con sus reflexiones. Además, de las dos condiciones de precedencia –discriminación de cambios en la posición de la fuente líder o de la fuente retardada (primer y segundo percepto, respectivamente)– resulta más difícil esta última, que es precisamente el percepto que evalúa esta prueba (para una revisión consultar, por ejemplo, [Blauert, 1997](#); [Litovsky et al., 1999](#); [Wightman y Kistler, 1997](#)).

Otro resultado esperado es el que muestra para todos los participantes, un patrón de dificultad creciente en relación a los cuatro ITDs utilizados, siendo la menor diferencia de tiempo con que un sonido llega a ambos oídos, i.e., el $ITD_{50} \equiv 5^\circ$, significativamente más difícil que los otros tres ITDs (bloque Sin Precedencia: $F_{3,81}=22.69$; $p<.00$; $\eta^2=.46$). Cuando los Ss debían resolver los ensayos bajo condición de efecto precedente (bloque Con Precedencia) –simulan sonidos directos interactuando con sus reflexiones– el $ITD_{100} (\equiv 10^\circ)$, también resultó significativamente más difícil que los ITD_{200} e $ITD_{500} (\equiv 25^\circ$ y 55° , respectivamente), entre los que no hubo diferencias significativas ($F_{3,81}=12.64$; $p<.00$; $\eta^2=.32$).

Con el propósito de interpretar la influencia significativa de la variable Señal (Real vs. Artificial) y efecto de las interacciones significativas sobre el rendimiento en la prueba, realizamos un análisis físico de los estímulos utilizados. En las Figuras 4 y 5 se muestran comparativamente los parámetros temporales y espectrales para el estímulo de prueba configurado con señales artificiales (a, b y c, Figura 4) y con señales reales (a', b' y c', Figura 4), para determinadas combinaciones de ICI e ITD: se observa el estímulo de prueba de un ensayo del bloque Con Precedencia (par directa-reflejada: igual color) para un $ICI=2$ ms e $ITD=+100$ μ s (la reflexión llega antes al oído derecho; nótese que la información direccional –par dicótico: distinto color– está contenida en la señal retardada).

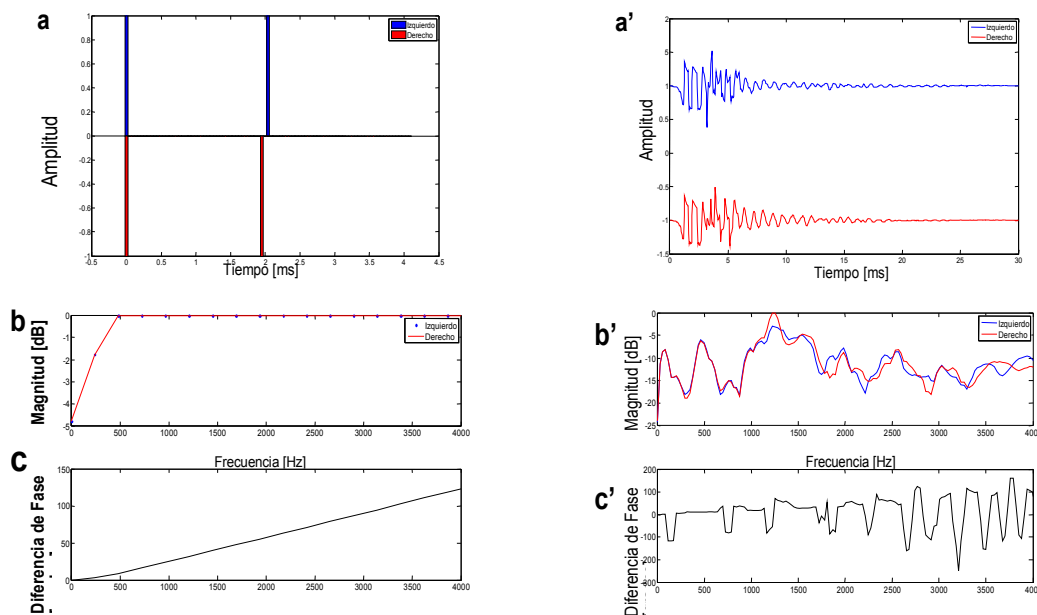


Figura 4: Comportamiento temporal, espectros y diferencia de fase del estímulo de prueba configurado con señales artificiales (a, b y c, resp.) y con señales reales (a', b' y c', resp.), para $ICI=2$ ms e $ITD=+100$ μ s

Del comportamiento temporal de los estímulos, se observa que –debido al ancho de banda de cada tipo de señal– no hay solapamiento entre la directa y la reflejada en el caso de la señal artificial (a) aunque sí lo hay para la señal real (a'), tanto en un oído como en el otro. Las consecuencias de tal comportamiento se reflejan en los espectros y diferencias de fase correspondientes. Para la señal artificial (b y c), las magnitudes de los espectros de ambos oídos son iguales y la diferencia de fase es positiva, esto es, la fase del oído derecho es mayor o está adelantada con respecto a la del oído izquierdo (+ITD). En el caso de la señal real (b' y c'), las magnitudes de los espectros de ambos oídos son diferentes, siendo mayor las del oído derecho en la zona de mayor concentración de la energía (entre 1060 y 1426 Hz) y la diferencia de fase –aunque oscila entre valores positivos y negativos a lo largo de todas las frecuencias– es positiva en la zona mencionada.

En la Figura 5 presentamos el estímulo de prueba de un ensayo del bloque Con Precedencia para idéntico ITD e ICI=5 ms, sólo para señal real, ya que el comportamiento de la señal artificial no varió significativamente en esta condición.

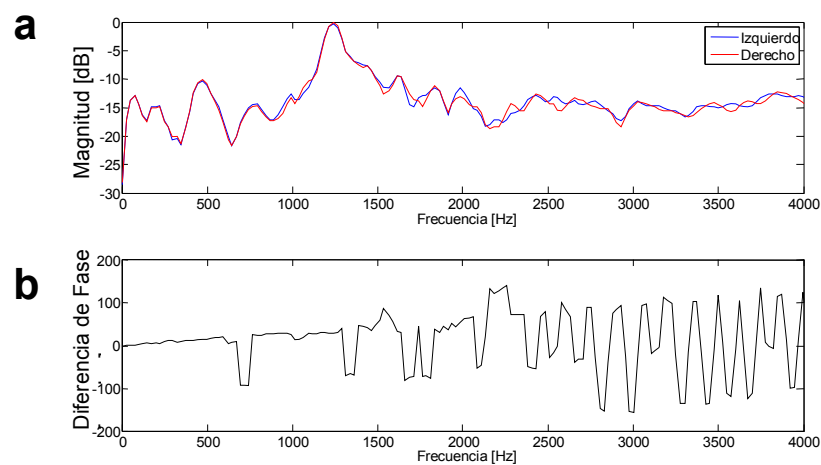


Figura 5: Espectros (a) y diferencia de fase (b) del estímulo de prueba configurado con señales reales para ICI=5ms e ITD=+100µs

Se puede observar que las magnitudes de los espectros de ambos oídos son iguales en la zona de interés y la diferencia de fase –aunque también oscila entre valores positivos y negativos a lo largo de todas las frecuencias– es positiva en la zona mencionada.

De estos resultados, importa remarcar en primer lugar, aspectos descritos en la bibliografía sobre el tema: cuando los estímulos se superponen en el tiempo –tal el caso de estímulos conformado con la señal real– la dirección percibida surge de un promedio complejo que incluye amplitudes y fases de las formas de onda que se están sumando ([Litovsky et al., 1999](#)). Parecería además, que la señal real, por su característica tonal, pudo haber brindado claves espectrales adicionales que facilitaron la tarea. En esta dirección, recientemente se ha encontrado evidencia creciente de que la información de localización se combina, a través de la frecuencia, para reducir la ambigüedad en la información espacial, dentro de cualquier banda de frecuencia angosta ([Shinn-Cunningham et al., 1995](#)).

En relación a la interacción significativa de Señal x ICI en el bloque Con Precedencia, se observó que en el caso de la señal artificial, resultó más fácil resolver los ensayos ICI 5 ms respecto de los ensayos ICI 2 ms. Ocurre lo contrario para la señal real: más fácil fueron los ensayos ICI 2 ms en relación a los ensayos ICI 5 ms. El primer resultado acuerda con estudios previos que establecen que para ICIs entre 1 y 10 ms, el umbral de discriminación de la retardada es mayor, alcanzando un valor máximo para un ICI de 2 ms: Umbral ITD = 300 µs

(Blauert, 1997; Saberi y Perrott, 1990; Tollin y Henning, 1998; Litovsky, 1997; Litovsky et al., 1999; Litovsky y Shinn-Cunningham, 2001). El segundo resultado podría explicarse por las diferencias interaurales de nivel sonoro (ILD) observada para ICI 2 ms, favoreciendo al oído al que llega primero la señal, lo que refuerza las claves del ITD. Por el contrario para un ICI de 5 ms los niveles en ambos oídos son iguales, por lo tanto no hay ILDs.

Finalmente, los ensayos con ICI 5 ms resultaron más fácil que los ensayos ICI 2ms sólo para ITD₂₀₀. Saberi y Perrott (1990) concluyeron que el ITD depende del ICI: el efecto precedente es máximo (> umbrales) para 2 ms mientras que pierde efectividad para 5 ms (< umbrales). Encontraron umbrales bajos y estables –entre 25 μ s y 45 μ s– para ICIs por debajo de 1 ms y por encima de 5 ms. En el rango entre 1 ms y 5 ms, el umbral se decuplicó –lo que pone en evidencia la existencia del efecto precedente– siendo el umbral ITD más alto = 220 μ s para ICIs entre 1.75 y 2.35 ms. Concluyeron que la suma de ITDs a los ICIs causan potenciales claves espectrales monoaurales basadas en si un click particular en un oído particular, es líder o retardado con respecto al otro click presentado en el otro oído. Si el ITD se suma al ICI, puede escucharse el estímulo con una altura tonal baja y si se resta, puede escucharse una altura tonal más aguda. Precisamente, el concepto de color del eco –que integra el efecto precedente y la altura tonal de la repetición (Arias, 2008)– se refiere al hecho de que las reflexiones, aunque no puedan escucharse como eventos separados, cambian notoriamente otras cualidades perceptuales del sonido compuesto, tales como sonoridad, espacialidad y timbre; en particular, una reflexión puede agregarle altura tonal o coloración al sonido original (i.e., altura tonal de la repetición, RP. Bilsen y Ritsma, 1969/70; Zurek, 1979). En esta dirección, Krumbholtz et al. (2004), estudiaron el mecanismo que determina la fuerza (saliencia) de RP asociada con una única reflexión de un sonido de banda ancha en función de la información monoaural: retardo (τ) entre directa y reflejada e información binaural: ITDs e ILDs. Los resultados mostraron que la fuerza de la RP estaba asociada a la representación interna de la información monoaural en cada oído y que el sistema auditivo combina la información de altura tonal mediante un proceso de promediación central.

De todo el cuerpo de conocimientos científicos y empíricos generados, se infiere que ambos fenómenos son complementarios a los efectos de la ecolocación: en las condiciones donde es más difícil extraer información espacial de la señal retardada, mayor es la fuerza (saliencia) de la altura tonal de la repetición (entre 2 y 5 ms de retardo entre directa y reflejada). Ambos mecanismos en conjunto estarían disponibles en la mayoría de las situaciones cotidianas y el sujeto que ecoloca habría desarrollado estrategias para optimizar la información relevante.

En síntesis, los resultados mostraron que:

- ✓ El grupo de participantes ciegos rindió significativamente mejor que los otros dos grupos de participantes con visión normal con y sin entrenamiento musical, entre los que no hubo diferencias significativas, en todos los casos, salvo en el bloque más fácil Sin Precedencia (sonidos directos), en el que no hubo diferencias significativas entre los grupos.
- ✓ El entrenamiento musical parece no influir sobre el rendimiento en la prueba, lo cual ha sido corroborando en hallazgos previos.
- ✓ La condición Sin Precedencia (sonido directo) fue más fácil que la condición Con Precedencia (directo+reflejado), en concordancia con estudios previos.
- ✓ La señal Real resultó más fácil que la señal Artificial en ambos bloques.
- ✓ Los cuatro ITDs utilizados, mostraron un patrón de dificultad creciente sobre todo en el bloque Con Precedencia, siendo el ITD₅₀ el más difícil, seguido por el ITD₁₀₀. Los ITD₂₀₀ e ITD₅₀₀ fueron fáciles, a excepción del estímulo configurado con un ICI de 5

ms e ITD₂₀₀, que resultó significativamente más difícil que el estímulo con el mismo ITD e ICI de 2 ms.

4.2 Localización sonora bajo condición de precedencia

4.2.1 El rendimiento del grupo C (participantes ciegos)

Cuando analizamos la influencia de las variables Estímulo (25 ms, 4 ms y E) y Condición de Precedencia (Única, Líder y Retardada) sobre los umbrales MAA obtenidos por los participantes ciegos, observamos efectos principales significativos de 1) Estímulo ($F_{2,22}=7.20$; $p<.00$; $\eta^2=.40$) y 2) Condición de precedencia ($F_{2,22}=23.56$; $p<.00$; $\eta^2=.68$) y 3) una interacción significativa de Estímulo x Condición de precedencia ($F_{4,44}=3.18$; $p<.02$; $\eta^2=.22$).

1) Estímulo: el análisis post hoc mostró que el estímulo 25 ms fue significativamente más fácil ($p<.00$) que los otros dos estímulos (4 ms y E), entre los que no hubo diferencias significativas. El análisis físico de las señales (Figura 6) mostró que el primero es el único de los tres estímulos que tiene componentes en frecuencia de igual energía en todo el rango de frecuencias, por lo que la disponibilidad de las tres claves involucradas en la localización de una fuente sonora (ITD, ILD y el efecto del filtraje) es óptima. El estímulo de 4 ms es deficiente en las frecuencias más bajas por lo que estarían degradadas las claves interaurales y el estímulo E, como mencionamos, tiene características tonales con máxima energía sólo en una banda de frecuencias muy angosta (entre 1060 Hz y 1426 Hz; pico máximo en 1260 Hz). Consideramos que la influencia distintiva de este último estímulo configurado bajo condición de precedencia sobre la tarea en cada prueba, se debe a sus características frecuenciales y temporales. Es decir, éstas pueden haber servido como claves adicionales en la primera prueba de lateralización con auriculares, que no mide umbrales –de allí que resultara más fácil que el estímulo artificial– mientras que estas mismas características pudieron haber significado una desventaja en esta segunda prueba en campo libre, en la que se mide agudeza espacial con la obtención de umbrales a través de la tarea del MAA.

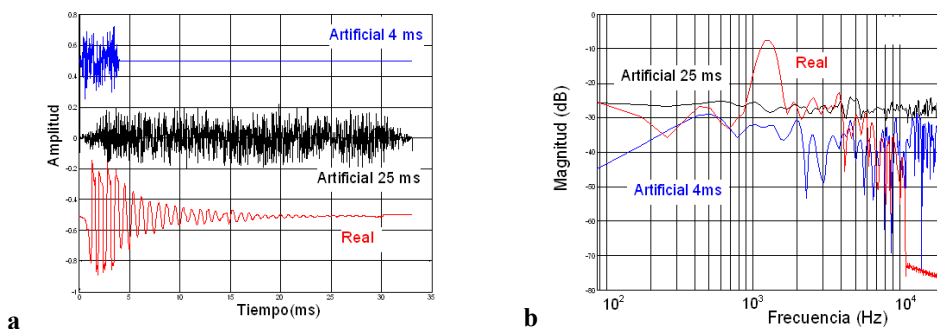


Figura 6: Comportamiento temporal (a) y espectral (b) de los estímulos 4 ms, 25 ms y E

2) Condición de precedencia: se puso en evidencia que la condición de precedencia Retardada fue significativamente más difícil ($p<.00$) que las otras dos condiciones de precedencia (Única y Líder), entre las que no hubo diferencias significativas. Este es un resultado esperado ampliamente documentado en estudios previos sobre efecto precedente.

3) Estímulo x Condición de precedencia: esta interacción pone en evidencia aspectos interesantes, con las dos excepciones que se señalan más abajo, los participantes ciegos obtuvieron umbrales promedio bajos ($\leq 3^\circ$) en todas las condiciones experimentales –i.e., con estímulos óptimos en relación a las claves de localización (25 ms) y no óptimos (4 ms y E)– y en condiciones de precedencia fáciles (Única y Líder) y difíciles (Retardada). Su rendimiento

se degradó (en relación con su propio rendimiento en las otras condiciones), como era de esperar, en las dos condiciones experimentales en las que se combinan estímulos no óptimos con la condición de precedencia más difícil, o sea, condición Retardada con estímulo 4 ms y condición Retardada con estímulo E (7° y 9°, respectivamente; entre ambas condiciones no hubo diferencias significativas). Litovsky (1997) también encontró que el estímulo más largo producía umbrales MAA más bajos en sus participantes adultos, en relación con los estímulos más cortos (4 y 6 ms) para la condición Retardada. Como se recordará, el estímulo de precedencia consistía en dos burst de ruido idénticos, con el comienzo de uno retardado en 5 ms con respecto del comienzo del otro. En el caso del estímulo de 25 ms ocurría lo siguiente: a) la señal líder comenzaba y continuaba sonando sola, por espacio de 5 ms; b) al comenzar la señal retardada, ambas se superponían durante 20 ms; c) al terminar la líder, la señal retardada continuaba sonando sola durante los 5 ms finales. La autora considera que el participante pudo haber desarrollado una estrategia auditiva eficiente para cumplir con la tarea de discriminar pequeños cambios en la posición de la fuente retardada, lo que le permitió extraer suficiente información de la “cola final” del estímulo. Esta “cola temporal” está disponible sólo en las señales de más larga duración (Figura 7). En este sentido, es interesante remarcar que el Estímulo E prácticamente no tiene energía en su “cola temporal” (recuadros rosa en Figura 7). De allí que el comportamiento físico y los MAA promedio que produjo el estímulo real, se asemeja al del estímulo breve 4 ms, a pesar de ser un estímulo cuya duración es más parecida a la del estímulo 25 ms. Este efecto de la duración del estímulo sobre el umbral MAA, no se observa en la condición Líder, puesto que para cumplir la tarea (discriminar pequeños cambios de la fuente líder) solamente debe prestar atención al comienzo del estímulo, sin importar lo que viene después.

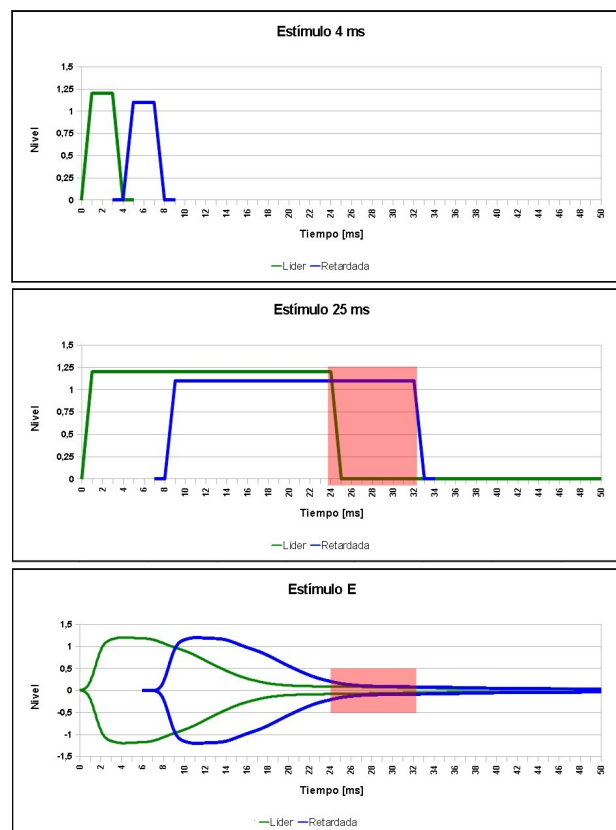


Figura 7: Representación esquemática de la superposición temporal líder-retardada.

4.2.2 Rendimiento de ambos grupos (participantes ciegos y con visión normal).

Estímulo 25 ms: al comparar los valores MAA promedio obtenidos por participantes ciegos y con visión normal con el estímulo 25 ms, observamos una diferencia significativa en el rendimiento entre ambos grupos ($F_{1,20}=7.61$; $p<.01$; $\eta^2=.28$), a favor de los participantes ciegos ($p<.01$). Además, la Condición de precedencia afectó significativamente el rendimiento en esta prueba ($F_{2,40}=31.12$; $p<.00$; $\eta^2=.61$): la condición Retardada fue significativamente más difícil para todos los participantes ($p <.00$) que las otras dos condiciones Única y Líder, entre las que no hubo diferencias significativas. La mayor diferencia en el rendimiento fue observada en la condición más difícil Retardada a favor de los participantes ciegos aunque la misma no alcanzó nivel de significación estadística.

Estímulos 4 ms y E: para ambos estímulos observamos que sólo la Condición de precedencia influyó significativamente en el rendimiento de los participantes (Estímulo 4: $F_{2,40}=17.68$; $p<.00$; $\eta^2=.47$; Estímulo E: $F_{2,40}=27.41$; $p<.00$; $\eta^2=.58$). El análisis post hoc arrojó el mismo resultado en los dos análisis: la condición Retardada fue significativamente más difícil ($p<.00$) que las otras dos condiciones Única y Líder, entre las que no hubo diferencias significativas.

Es interesante notar que los participantes con visión normal (recordar que fueron diferentes participantes en cada grupo) también obtuvieron umbrales promedio bajos ($\leq 3^\circ$) con estímulos óptimos y no óptimos aunque sólo en las condiciones de precedencia fáciles (Única y Líder). Obtuvieron, sin embargo, umbrales promedio altos ($\geq 5^\circ$) en la condición de precedencia más difícil (Retardada) –la condición mayormente involucrada en la ecolocación– ya que implica extraer información direccional del sonido reflejado.

En síntesis, los resultados mostraron que:

- ✓ Los participantes ciegos obtuvieron umbrales promedio bajos en todas las condiciones experimentales, con excepción de los umbrales significativamente más altos obtenidos en la condición Retardada con los estímulos 4 ms y E, con relación a sus propios umbrales promedio obtenidos en las otras condiciones experimentales.
- ✓ Para ambos grupos: a) el estímulo 25 ms produjo los umbrales promedio MAA más bajos, es decir, fue el estímulo más fácil de localizar independiente de la condición de precedencia involucrada. b) La condición de precedencia Retardada fue la más difícil de las tres condiciones estudiadas para los tres estímulos utilizados; fue la que produjo además, la mayor variabilidad en el rendimiento de los participantes. c) La condición Retardada con el estímulo E (señal real de ecolocación) fue la condición más difícil de todas.
- ✓ Los participantes ciegos obtuvieron umbrales MAA significativamente más bajos que los participantes con visión normal, sólo cuando se utilizó el estímulo de 25 ms. La diferencia mayor entre ambos grupos, se observó en la condición de precedencia más difícil (Retardada), a favor de los participantes ciegos, aunque esta diferencia no alcanzó nivel de significación estadística.

5 – CONCLUSIONES

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

Existe en la comunidad científica actual un creciente interés por estudiar el efecto que tienen las reflexiones sobre la habilidad para localizar sonidos y por comprender la manera como el sistema auditivo resuelve la competencia perceptual que se produce entre el sonido original o directo y sus reflexiones o sonidos retardados en ambientes reverberantes. Una estrategia inconsciente utilizada para enfrentar esa información conflictiva es el efecto precedente, descrito como un mecanismo supresor de ecos que le ayudaría al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria al atribuirle un fuerte pesaje al sonido directo y reducir la influencia de la información direccional de los sonidos retardados. En otras palabras, el eco provoca un conflicto, que generalmente se resuelve a favor de la información que llega primero. Se ha mencionado, en este sentido, que el efecto precedente es equivalente al ventriloquismo: los ecos son “capturados” por la posición de la fuente líder, igual que la voz es capturada por la visión en este último fenómeno ([Clifton et al., 1994](#)). Sin embargo, hallazgos recientes demuestran que el sistema auditivo preserva la información espacial contenida en las reflexiones, aún cuando se produzca fusión y dominancia del líder. Por ejemplo, [Saberí y Perrott \(1990\)](#) demostraron que con suficiente práctica, es posible “apagar” este mecanismo de supresión y extraer información contenida en las reflexiones. El efecto precedente ha sido replicado con éxito en estudios de lateralización con resultados similares a los obtenidos en estudios de localización.

En la revisión más reciente sobre el tema, se describen tres perceptos involucrados en este fenómeno: fusión, dominancia en la localización y supresión de la discriminación del sonido retardado ([Litovsky et al., 1999](#)). 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. Es importante destacar que la presencia del sonido retardado se detecta claramente: si se apaga el altavoz que emite el sonido retardado, la imagen percibida cambia notablemente en sonoridad, altura tonal, espacialidad (“ensanchamiento” de la imagen auditiva) y timbre. El percepto de dominancia se refiere al procesamiento de la información direccional, esto es, dónde se localiza la imagen fusionada y cuánto la posición del sonido líder domina esta percepción. El tercer percepto se refiere a la habilidad del sujeto para procesar la información direccional contenida en el sonido retardado, lo cual implica extraer información de un sonido que no es audible como evento separado.

Por otra parte, la ecolocación es la habilidad para localizar y reconocer objetos que no pueden verse, a partir del procesamiento de la información contenida en las reflexiones que se producen cuando los sonidos autogenerados se reflejan en las superficies del entorno. Esta habilidad resulta crucial para el logro de la movilidad independiente de la persona ciega, que es uno de los aspectos que más afecta la ceguera. Por razones que aún se desconocen, algunas personas aprenden a utilizar la ecolocación con gran maestría mientras que otras no lo logran y permanecen dependientes de un guía vidente durante toda la vida. Este objeto de estudio está recibiendo un creciente interés científico en el último tiempo ya que se lo considera un fenómeno paradigmático a la luz de los nuevos enfoques teóricos de la cognición corporizada y de la percepción-acción ([Arias et al., 2010](#)).

Con el propósito de estudiar posibles relaciones entre el efecto precedente y la ecolocación humana a distancias cercanas implementamos dos pruebas de localización y lateralización sonora bajo condición de precedencia (midieron el segundo y tercer preceptos) y las administramos a participantes ciegos con buena habilidad de ecolocación y participantes con visión normal.

Los resultados de ambas pruebas tomados en su conjunto pueden sintetizarse en tres puntos fundamentales:

- ✓ Se demostró la existencia del efecto precedente en tanto fusión y dominancia de la señal líder.

- ✓ Se comprobó que es posible extraer información direccional del sonido retardado, aún cuando esta tarea sea más difícil que la anterior.
- ✓ Se evidenciaron diferencias significativas, tendencias y diferencias cualitativas, a favor de los participantes ciegos, en el rendimiento en las pruebas, especialmente en las condiciones experimentales más difíciles que guardan estrecha relación con la ecolocación. Interpretamos estos resultados como un efecto de aprendizaje implícito, referido al procesamiento más eficiente de la información perceptual, especialmente en las condiciones más desfavorables, por parte de individuos que por condiciones laborales o vitales particulares (la ceguera, por ejemplo) están sometidos a un diario entrenamiento sistemático ([Arias, 2009a](#); [Bermejo et al., 2008](#)).

AGRADECIMIENTO Y NOTA

Los autores agradecen al Ing. Oscar Ramos por su valiosa colaboración en el análisis físico de los estímulos sonoros utilizados.

Parte de este trabajo ha sido presentado en el 2do. Congreso Internacional de Acústica UNTREF (Buenos Aires, 2010).

REFERENCIAS

- Arias C., Curet C.A., Moyano H.F., Joekes S. and Blanch N. Echolocation: a study of auditory functioning in blind and sighted subjects. *Journal of Visual Impairment & Blindness*.;87(3):73-77, 1993.
- Arias C. and Ramos O. A. Psychoacoustics tests for the study of the human echolocation ability. *Applied Acoustics*, 51(4), 399-419, 1997.
- Arias C. Ecolocación humana y Efecto precedente. Tesis doctoral (no publicada). *Facultad de Psicología. Universidad Nacional de Córdoba*, 2009a.
- Arias C. Ecolocación humana y efecto precedente: Lateralización de sonidos bajo condición de precedencia en personas ciegas y con visión normal. En Richaud de Minzi M.C. and Moreno J.E. (Eds.), *Investigación en Ciencias del Comportamiento: Avances iberoamericanos*, Tomo 2 (pp. 547-582). Buenos Aires: Ediciones CIIPME-CONICET, 2009b.
- Arias C. Ecolocación humana: el color del eco. Actas del VIº Congreso Iberoamericano de Acústica. Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) y Asociación de Acústicos Argentinos (AdAA),54-55, 2008.
- Arias C. L'echolocation humaine chez des handicapés visuels. *L'Année Psychologique*, 96, 703-721, 1996.
- Arias C., Hüg M. X., Bermejo F., Venturelli N. and Rabinovich D. Ecolocación humana: revisión histórica de un fenómeno particular- Primera Parte. *Interdisciplinaria- Revista de Psicología y Ciencias Afines*, 27, 2, 335-348, 2010.
- Arias C., Hüg M. X., Bermejo F., Venturelli N. and Rabinovich D. Ecolocación humana: revisión histórica de un fenómeno particular- Segunda Parte. *Interdisciplinaria- Revista de Psicología y Ciencias Afines*, en prensa, 2011.
- Arias C., Ramos O. A. Audición espacial en ambientes reverberantes: aspectos teóricos relevantes. *Revista Interamericana de Psicología /Internamerican Journal of Psychology*, 37(2), 371-380, 2003.
- Ashmead D.H., Davis D. and Northington A. The contribution of listeners approaching motion to auditory distance perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*

- Performance*, 21, 239-256, 1995.
- Bassett I.G. and Eastmond E.J. Echolocation: measurement of pitch versus distance for sounds reflected from a flat surface. *Journal of the Acoustical Society of America*, 36, 5, 911-916, 1964.
- Bermejo y Arias, Reseña de “Blindness and brain plasticity in navigation and object perception” de Rieser, J. J., Ashmead, D. H., Ebner, F.F. y Corn, A. L. (eds.) *Interdisciplinaria- Revista de Psicología y Ciencias Afines*, en prensa, 2011.
- Bermejo F., Gómez C. y Arias C. Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos y reflejados en participantes entrenados y no entrenados. *Revista Tesis*, 1, 31-43, 2008.
- Bilsen F.A. and Ritsma R.J. Repetition pitch and its implications for hearing theory. *Acustica*, 22, 63-73, 1969/70.
- Blauert J. Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization. Revised Edition. *The MIT Press*, 1997.
- Bregman A.S. Auditory scene analysis: Hearing in complex environments. In S. McAdams, E. Bigand (Eds.), *Thinking in sounds: The cognitive psychology of human audition*, pp. 10-36, 1992.
- Clifton R., Freyman R., Litovsky R. and McCall D. Listeners' expectations about echoes can raise or lower echo threshold. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 95(5), 1525-1533, 1994.
- Krumbholz K., Maresh K., Tomlinson J., Patterson R.D., Seither-Preisler A., and Lütkenhöner B. Mechanisms determining the salience of coloration in echoed sound: influence of interaural time and level differences. *Journal of the Acoustical Society of America*. 115, 1696-1704, 2004.
- Litovsky R. Y. Developmental changes in the precedence effect: Estimates of Minimal Audible Angle. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102(3), 1739-1745, 1997.
- Litovsky R.Y. and Shinn-Cunningham B.G. Investigation of the relationship between three common measures of precedence: fusion, localization dominance and discrimination suppression. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 346-358, 2001.
- Litovsky R.Y., Colburn H.S., Yost W.A. and Guzman S.J. The precedence effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106 (4), 1633-1654, 1999.
- Loomis J. M., Fujita N., Da Silva J. A. and Fukusima S. S. Visual space perception and visually directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, (18), 906-921, 1992.
- Masterton R. B. Role of the central auditory system hearing: the new direction. *TINS*, 15(8), 280-284, 1992.
- McAdams S. Recognition of sound sources and events. (146-198). In *Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition*. Eds. S. Mc Adams and E. Bigand. Oxford University Press, 1992.
- Mills A. On the minimum audible angle. *Journal of the Acoustical Society of America*, 30, 237-246, 1958.
- Plenge G. On the difference between localization and lateralization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56(3), 944-951, 1974.
- Ramos O. A. and Arias C. Human echolocation: the ECOTEST System. *Applied Acoustics*, 54 (4), 439-445, 1997.
- Rieser J.J., Ashmead D.H., Ebner F. and Corn A.L. (Eds.) Blindness and brain plasticity in navigation and object perception. *New York: Lawrence Erlbaum Associates*, 2008.
- Saberi K. and Perrott D.R. 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, 1990.
- Shinn-Cunningham B.G., Zurek P.M., Clifton R.K., and Durlach N.I. Cross-Frequency

- Interactions in the Precedence Effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(1), 164-171, 1995.
- Stoffregen T.A. and Pittenger J.B. Human echolocation as a basic form of perception and action. *Ecological Psychology*, 7(3), 181-216, 1995.
- Tollin D.J. and Henning G.B. 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, 1998.
- Winer, D, J.. Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill, 1962.
- Wightman F. L. and Kistler D. J.. Factors affecting the relative salience of sound localization cues. In R. H. Gilkey and T. R. Anderson (Eds.), *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments* chapter 1, (pp. 1{23). Mahwah, NJ. USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- Woodworth R.S. and Schlosberg H. *Experimental Psychology*. Holt, Rinehart and Kingston, 1954.
- Yost W. Auditory image perception and analysis: The basis for hearing. *Hearing Research*, 55, 8-18, 1991.
- Zurek P.M.. Measurements of binaural echo suppression.. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 1750-1757, 1979.