



## **Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos y reflejados en participantes entrenados y no entrenados**

Tesistas: Fernando Bermejo; María Cecilia Gómez

Directora: Claudia Arias.

---

**Resumen:** El objeto de estudio de una de las líneas interdisciplinarias del CINTRA es la ecolocación humana, habilidad crucial para la persona ciega. Este fenómeno está vinculado con la localización de sonidos reflejados e implica la utilización de sonidos autoproducidos para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven. Uno de sus proyectos en curso está permitiendo abordar un tema con escaso desarrollo científico: los aspectos dinámicos involucrados en ecolocación y en localización sonora. Específicamente, se están estudiando los movimientos de cabeza que realizan participantes con y sin discapacidad sensorial para enfrentar fuentes sonoras activas en plano azimutal, sin utilizar claves visuales.

En este marco, se realizaron dos tesinas complementarias que abordaron la temática de localización de sonidos directos (Bermejo, 2007) y sonidos reflejados (Gómez, 2007). El objetivo de los trabajos consistió en caracterizar los principales aspectos de los movimientos de cabeza que realizan -en pruebas de localización de sonidos-participantes con visión y audición normales, con y sin entrenamiento auditivo espacial.

Los resultados obtenidos acuerdan con la literatura previa: a) la precisión para enfrentar la fuente sonora utilizando la tarea de girar la cabeza arroja similares resultados que los obtenidos en estudios estáticos de localización sonora con tareas clásicas y estudios de agudeza auditiva espacial; b) la discriminación de la señal retardada es la condición más difícil del efecto precedente; y c) cualitativamente, los participantes entrenados tuvieron un rendimiento más preciso y consistente que los participantes no entrenados, en concordancia con estudios previos.

**Palabras clave:** movimientos de cabeza - localización sonora sin claves visuales -localización de sonidos

---

### **Introducción**

La línea de investigación interdisciplinaria "Ecolocación Humana" del Centro de

Investigación de Transferencia en Acústica, CINTRA, UTN FRC, UA CONICET, apunta a promover el desarrollo de habilidades perceptuales inexploradas. Su objeto de estudio es la ecolocación, habilidad crucial para la persona ciega. Este fenómeno perceptual -perteneciente al área escasamente estudiada de los procesos cognitivos de la audición cotidiana de sonidos no verbales, estrechamente vinculada con la localización de sonidos reflejados- es definido como la habilidad para localizar, reconocer e identificar objetos que no se ven, a partir del procesamiento de la información contenida en las relaciones que se establecen entre los sonidos autoproducidos y sus reflexiones en los objetos del entorno.

El propósito general de la línea consiste en avanzar en la comprensión de esta habilidad para sentar las bases teórico-prácticas de un programa de entrenamiento asistido por computadora destinado a la persona ciega.

Uno de los proyectos en curso -que cuenta con subsidio del CONICET (PIP N° 5753)- está permitiendo abordar un tema con muy escaso desarrollo en la bibliografía científica: las claves dinámicas involucradas en la localización sonora y en la ecolocación. Su objetivo consiste en caracterizar -sobre la base de un estudio pionero, Perrott, Ambarsoon y Tucker (1987)- los principales aspectos de los movimientos de cabeza que realizan participantes con y sin discapacidad sensorial en pruebas de localización de sonidos y en una prueba de ecolocación.

A fines de 2005, ingresaron al equipo -a través del Sistema de Prácticas de Investigación implementado por la Facultad de Psicología- dos estudiantes avanzados (Bermejo, F. y Gómez, C). Seis meses después obtuvieron sendas becas del Programa Conciencias de la Agencia Córdoba Ciencia del Gobierno de la Provincia de Córdoba para, la realización de sus trabajos finales de Licenciatura. Ambos desarrollaron proyectos complementarios abordando la temática del aprendizaje perceptual, al trabajar con adultos sin discapacidad sensorial con y sin entrenamiento en audición espacial, en pruebas de localización de sonidos directos (Bermejo, 2007) y de sonidos reflejados (Gómez, 2007).

En los apartados que se presentan a continuación se desarrollan conjuntamente ambos trabajos. Se exponen primero el problema de investigación y los objetivos, luego el marco conceptual con los aportes teóricos más relevantes, los materiales y métodos utilizados y por último los principales resultados y conclusiones.

### **Problema de investigación**

- ¿Qué características tienen las respuestas de movimiento de cabeza (RMC) que realizan los participantes en pruebas de localización de sonidos directos y reflejados?
- ¿Qué diferencias existen en el patrón de RMCs entre participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial?

### **Objetivos**

#### *Objetivo General:*

- Caracterizar las RMCs que realizan participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial en pruebas de localización de sonidos directos y reflejados.

#### *Objetivos Específicos:*

- Analizar y comparar las RMCs que realizan participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial en función de: tipo de estímulo, posición de la fuente y condición de precedencia.
- Analizar y comparar cualitativamente el patrón de RMCs que realizan participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial.

### **Marco conceptual**

#### *Localización sonora*

Determinar características de la fuente sonora -posición, distancia relativa y naturaleza- a partir de la información contenida en los sonidos que ella produce es una habilidad crucial que utilizamos regularmente aunque ha recibido escasa atención por parte de los científicos (Yost, 1991; McAdams, 1993).

La habilidad del hombre para localizar fuentes sonoras es muy precisa aún en condiciones adversas, por ejemplo, en ambientes muy reverberantes. Está referida a la percepción de la posición de la fuente en el plano horizontal, vertical y a la percepción de su distancia relativa (Blauert, 1997).

Una persona normal tiene una inmediata apreciación del espacio auditivo, en tanto la mayoría de las veces se orienta hacia el evento sonoro de manera natural, rápida y exacta. Sin embargo, la agudeza auditiva espacial es pobre comparada con la agudeza

viso espacial (segundos de arco vs. grado de arco, respectivamente). Por ello se considera al sistema visual como el canal sensorial óptimo para la adquisición de la información espacial, aunque esta optimización ocurre sólo dentro de una "ventana angosta" que abarca unos pocos grados de la línea de mirada. En contraste, la modalidad auditiva provee información espacial de todos los eventos remotos en el campo del escucha sin importar la orientación (línea de mirada) de la persona. En situaciones de alta incertidumbre espacial, esto es, cuando un observador puede no saber para dónde mirar o ante objetos que no pueden verse, la potencia del sistema auditivo para proveer información espacial útil, es excelente.

Se supone, dentro de este contexto, que el sistema auditivo provee información espacial sobre eventos remotos fuera de esa 'ventana frontal' precisamente para que el sujeto se reoriente hacia la fuente y así pueda entrar en juego la alta capacidad de resolución espacial del sistema visual (Perrott, Saberi, Brown y Strybel, 1990).

#### *Localización de sonidos reflejados: el efecto precedente*

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 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.

El efecto precedente es una estrategia utilizada de manera inconciente por el individuo para enfrentar y resolver la información sonora conflictiva que se produce entre el sonido directo y sus múltiples reflexiones en ambientes cerrados (reverberantes). Ha sido definido como el fenómeno de audición espacial que ocurre cuando dos sonidos similares se presentan desde diferentes lugares separados por un breve retardo de tiempo. La persona escucha sólo un sonido que ubica según la dirección del sonido que le llegó primero, el líder. El sonido que llega más tarde es el retardado y se corresponde con las señales directa y reflejada del paradigma de ecolocación.

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. Por la 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 sí se percibe como un evento sonoro independiente.

Tres perceptos están involucrados en el efecto precedente: fusión, dominancia en la localización y supresión de 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. 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 se escucha como evento separado (Litovsky, Colburn, Yost, y Guzman, 1999; Arias y Ramos, 2003).

Todas las hipótesis tomadas en conjunto ninguna de las cuales brinda una explicación completa aún- sugieren que el sistema auditivo no elimina sino que por el contrario, conserva la información contenida en las reflexiones aún cuando se produce fusión y dominancia del líder.

#### *Movimientos de cabeza durante la localización de sonidos.*

La mayoría de los estudios científicos realizados en humanos sobre la habilidad de extraer información espacial del ambiente a través de la vía auditiva están referidos a situaciones estáticas: participantes Inmóviles y fuentes sonoras fijas. A pesar del valor reconocido que tienen las claves dinámicas en audición espacial, existen pocos trabajos científicos que den cuenta de la precisión con que los humanos pueden detectar fuentes sonoras estáticas cuando se les permite mover libremente la cabeza o en situaciones dinámicas, i.e., fuente sonora estática y participante en movimiento o fuente móvil y participante estático o ambos en movimiento.

En un estudio pionero, Thurlow, Mangels y Runge (1967) estudiaron los cambios angulares en la posición de la cabeza mientras un sujeto intentaba localizar la dirección de una fuente sonora. Describieron tres movimientos: rotación (izquierda/derecha), pivot (acercando oreja al hombro del mismo lado) y movimiento arriba/abajo ('tip'). Los movimientos de rotación ocurrieron de manera más frecuente.

Por su parte, Perrott y otros (1987), utilizando un sensor de movimiento de cabeza y trabajando a oscuras, examinaron la capacidad del participante para orientar su

cabeza basándose sólo en información acústica. Su tarea consistía en girar la cabeza tan pronto como comenzaba el sonido experimental hasta que lograba enfrentar justo la fuente sonora. Sus resultados corroboraron el hecho de que una respuesta motora gruesa, tal es el movimiento de la cabeza, está muy bien determinada utilizando sólo información auditiva, especialmente en la región comprendida entre  $\pm 30^\circ$  del plano medio del sujeto.

#### *Entrenamiento en la localización sonora*

Blauert (1997), entre otros, sostiene que en la percepción del espacio auditivo influyen factores como la experiencia y el aprendizaje. Por aprendizaje, en este caso aprendizaje perceptual, nos referimos a aquellos cambios relativamente permanentes producidos por la experiencia. Cuando el sujeto está sometido a una práctica sostenida, por ejemplo en tareas de audición espacial popsu profesión, actividad laboral o discapacidad sensorial, el aprendizaje es llamado implícito.

Estudios sobre el aprendizaje implícito en localización de sonidos, han demostrado que personas ciegas (Róder, Teder-Sálejárvi, Sterr, Rosler, Hillyard y Neville, 1999) o directores de orquestas (Münste, Kohlmetz, Nagert y Altenmüller, 2006), procesan de manera más eficiente los estímulos auditivos espaciales en condiciones más desfavorables. Por ejemplo, en el espacio auditivo periférico, los sujetos entrenados localizan mejor los sonidos en las regiones laterales extremas.

### **Metodología**

#### *Participantes*

15 participantes de ambos sexos, entre 20 a 35 años de edad, con visión y audición normales. Recibieron retribución monetaria y sus respuestas no fueron retroalimentadas. Se distribuyeron en dos grupos: a) *entrenados*, conformado por 2 técnicos de sonido y 3 directores de coro, con una experiencia profesional mínima de tres años (ambas actividades implican un fuerte entrenamiento en localización sonora); b) *no entrenados*, integrado por 10 adultos.

#### *Estímulos*

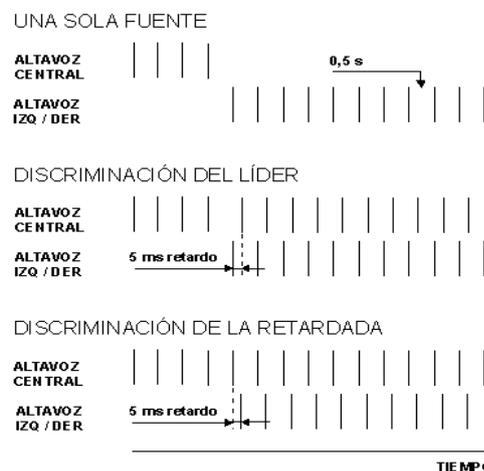
En la prueba de sonidos directos se utilizaron cuatro tipos de señales sonoras: pulso único de ruido blanco (UA: único artificial); tren de pulsos de ruido blanco, formado

por la repetición de los pulsos anteriores (TA: tren artificial); click único, grabación de una señal de ecolocación real generada por una persona ciega -un chasquido con la lengua- (UR: único real) y tren de clicks, formado por la repetición de los clicks (TR: tren real).

En la prueba de sonidos reflejados se utilizaron cuatro estímulos diferentes en la forma de trenes de pulsos integrando tipo de señal según generación y condición de precedencia: dos para la condición de control 'Sin efecto precedente' -o sea una sola fuente (sonidos directos)- y dos para la condición experimental 'Con efecto precedente' -dos fuentes (sonido directo más sonido reflejado).

Uno de los estímulos de la primera condición estuvo conformado por pulsos de ruido blanco al que se llamó tren artificial directo, TAD. El otro se construyó con clicks reales, se lo llamó tren real directo, TRD.

Los dos estímulos de la condición experimental 'Con efecto precedente' también se construyeron con los pulsos de ruido blanco ya explicados. Uno de ellos fue configurado para discriminar el sonido líder al que se llamó tren artificial líder, TAL. El otro estímulo fue construido para discriminar el sonido retardado y se lo llamó tren artificial retardado, TAR.



**Figura 1.** Configuración de estímulos.

En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la estructura de los estímulos, cuya secuencia temporal fue como sigue: todos comenzaban con cuatro pulsos emitidos por el parlante central a razón de dos por segundo. Luego, en la condición 'Sin precedencia' (una sola fuente en el gráfico) cambiaba a cualquiera de los parlantes laterales. En la

condición 'Con precedencia -Discriminación del líder', se emitían pares de pulsos (dos fuentes simulando directa o líder y reflejada). Un pulso continuaba emitiéndose por el parlante central y el otro, adelantado en 5 ms, se emitía por cualquiera de los parlantes laterales. De esta manera, la información direccional estaba contenida en el líder (pulso que llega primero). En la condición 'Con precedencia - Discriminación de la retardada' se procedió igual que en la condición anterior aunque esta vez era el segundo pulso el que se emitía desde cualquiera de los parlantes laterales retardado en 5 ms. Así, la información direccional estaba contenida en la retardada (pulso que llega después que el líder emitido desde el parlante central).

Todas las señales tenían 25 milisegundos de duración con un tiempo de subida/bajada del 10 %. En cada ensayo el pulso de ruido blanco se extrajo de una muestra diferente de un ruido blanco de mayor duración.

#### *Aparatos y arreglo experimental*

En la cámara silente del Laboratorio se posicionaron seis parlantes (TS G1040R 4" Pioneer Corporation apareados en frecuencia) en semicírculo montados en trípodes regulables en altura, en seis regiones diferentes en el plano azimutal.

Se utilizó una placa de sonido de 16 bits de resolución (Sound Blaster PCI512) conectada a un amplificador estereofónico de potencia (BOSS REV-650). Las salidas del amplificador alimentaban un dispositivo diseñado y construido por el equipo, que derivaba las señales enviadas por el amplificador a 7 canales que se conectan a los; parlantes.

El participante usaba durante toda la prueba una vincha a la que estaba adherido un sensor de movimientos (Patriot de Polhemus) que tomaba 60 muestras por segundo. El sensor y el dispositivo derivador que alimentaba los parlantes se controlaban mediante interfaz serial RS-232. El software para la administración y análisis de las pruebas fue desarrollado en MatLab; el mismo generaba gráficos del patrón de RMC para cada participante, condición, posición de parlante y ensayo.

#### *Procedimiento*

Los parlantes se posicionaron en seis regiones fijas en el plano azimutal, tres a la derecha y tres a la izquierda (Casi Adelante, Lateral Intermedia y Lateral). El experimento se condujo a oscuras con el participante sentado en el centro del

semicírculo a una distancia de 1, 50 m. El sujeto escuchaba en primer lugar, un ruido de alerta emitido desde 0°. Luego de un segundo de silencio, se emitía el sonido experimental según la estructura y secuencia temporal explicada más arriba (Figura 1). Su tarea consistía en: enfrentar el ruido de alerta hasta alcanzar la posición exacta, i.e., justo enfrente según su propia percepción, momento en el que cesaba su emisión.

Con el sonido experimental -tan pronto como cambiaba desde el parlante central hacia alguno de los parlantes laterales- debía girar su cabeza hasta enfrentar justo la fuente según su propia percepción. Para indicar su respuesta apretaba el botón de un pulsador con lo cual finalizaba el ensayo. Procedía de la misma manera para resolver los siguientes ensayos hasta finalizar la prueba que duraba una hora aproximadamente. Los participantes realizaron primero la prueba de localización de sonidos directos y posteriormente, en no menos de 15 días, resolvieron la prueba de localización de sonidos reflejados.

Las variables bajo estudio fueron: Entrenamiento (entrenados y no entrenados), Estímulo (en la prueba de sonidos directos: UA, UR, TA, TR; en la pruebas de sonidos reflejados 'Sin precedencia'-TAD, 'Sin precedencia'-TRD, 'Con precedencia'-TAL y 'Con precedencia'-TAR) y Posición de la fuente (Casi Adelante: entre  $\pm 5^\circ$  -  $\pm 15^\circ$ ; Lateral Intermedia: entre  $\pm 25^\circ$  -  $\pm 35^\circ$  y Lateral: entre  $\pm 50^\circ$  -  $\pm 60^\circ$ ).

Cada participante resolvió 480 ensayos en total (8x6x10 repeticiones en cada posición espacial). Se aleatorizó el orden de presentación de las posiciones de la fuente para cada condición de estímulo (fijo dentro de un bloque).

En la prueba de sonidos directos se aleatorizó también la presentación de las condiciones de estímulos. En cambio, en la prueba de sonidos reflejados los participantes resolvieron en primer lugar los ensayos de control 'Sin precedencia' y luego, los ensayos 'Con precedencia' -donde se contrabalanceó el orden de presentación de los estímulos dentro de cada condición.

Las variables dependientes medidas fueron las mismas que en el estudio de Perrot y otros (1990): *error constante (EC)* y *error variable (EV)* que se explican en el próximo punto; *latencia inicial (Li)*: desde el comienzo del estímulo hasta el primer movimiento de cabeza; *latencia final (Lf)*: desde el comienzo del estímulo hasta que aprieta el botón para responder; *respuesta de movimiento de cabeza, RMC*: patrón de movimiento desde que comienza el estímulo hasta que la cabeza alcanza la posición final.

### *Procesamiento de datos*

La respuesta de movimiento de cabeza (RMC) del participante se operacionalizó calculando para cada sujeto y para cada condición experimental (4 x 6) los siguientes tres índices: PFP: posición final de la cabeza promedio (promedio de 10 repeticiones); EC: error constante (diferencia entre la posición real del parlante y la PFP); EV: error variable (desviación estándar de la PFP). El EC es una medida de precisión mientras que el EV es una medida de la consistencia del rendimiento del participante. Ambos índices en conjunto dan cuenta de la habilidad del individuo para realizar la tarea.

Se analizó el efecto de las variables independientes sobre ECs, EVs, Lis y LFs con ANOVA de medidas repetidas de 3 factores y se estudió cualitativamente el patrón de RMCs (*PRMCs*) y la distancia total recorrida promedio en grados.

El *PRMCs* es la trayectoria que describe la cabeza desde que comienza el estímulo hasta que el participante responde. Se describe a partir de los movimientos sacádicos que realiza el participante con la cabeza, esto es, el desplazamiento de su posición con una duración mínima de 100 ms y un cambio mínimo de 1°.

La *distancia total recorrida promedio en grados* es la distancia que recorre la cabeza desde que comienza el estímulo hasta que el participante responde. Se la comparó cualitativamente en cada grupo según las diferentes condiciones experimentales con la distancia ideal -i.e. mínima distancia total recorrida si se hubiera realizado un único y preciso movimiento de cabeza.

## **Resultados**

### *Prueba de Localización de Sonidos Directos*

No hubo diferencias significativas en el rendimiento de participantes entrenados y no entrenados. Sí se observó un efecto significativo de la variable Posición del parlante sobre los ECs ( $F(5,45)=13,01$ ;  $p \leq .000$ ). El análisis post hoc indicó que se cometieron significativamente más errores en la región Lateral de ambos hemisferios (izquierdo y derecho). Se observó además, una interacción significativa de Estímulo y Posición del parlante sobre los ECs ( $F(15,135) r_{10-98}$ ;  $p \leq .000$ ). El análisis post hoc mostró que se cometieron significativamente más errores con las señales únicas (UA y UR) que con los trenes en las regiones Lateral y la Lateral Intermedia. En relación a los EVs solamente se observó un efecto significativo de la Posición del parlante ( $F(5,45)=3,77$ ;  $p \leq .006$ ). El análisis post hoc indicó que el rendimiento de los participantes es

significativamente más consistente (menor variabilidad) en la región Casi Adelante de ambos hemicampos. En relación a las latencias iniciales promedio (N=10) observamos que los participantes tardan más en comenzar a mover la cabeza cuando el estímulo se presenta desde las regiones Casi Adelante.

#### *Prueba de Localización de Sonidos Reflejados*

No hubo diferencias significativas en el rendimiento de participantes entrenados y no entrenados. Sí se observó un efecto significativo de la variable Posición del parlante sobre los ECs ( $F(5,45)=15,55$ ;  $p \leq .000$ ). El análisis post hoc indicó que se cometieron significativamente más errores en las regiones Laterales. Se observó además, una interacción significativa de Estímulo y Posición del parlante sobre los ECs ( $F(15,135)=2,48$ ;  $p \leq .003$ ). El análisis post hoc mostró que se cometieron significativamente más errores con el estímulo TAR (tren artificial retardado). En la región Lateral Intermedia, esta condición es más difícil sólo en el hemicampo derecho mientras que en el hemicampo izquierdo se cometen errores semejantes en todas las condiciones evaluadas. En relación a los EVs se observó un efecto significativo del Estímulo ( $F(3,27)=12,79$ ;  $p \leq .000$ ) y de la Posición del parlante ( $F(5,45)=5,78$ ;  $p \leq .000$ ). Analizando el primer efecto principal con comparaciones post hoc, observamos que el rendimiento de los participantes fue significativamente menos consistente (mayor variabilidad) con el estímulo TAR. En relación al efecto Posición del parlante, los participantes fueron significativamente menos consistentes en la región Lateral de ambos hemicampos. En relación a las latencias iniciales promedio, observamos un efecto significativo sólo de la Posición del parlante ( $F(5,45)=9,36$ ;  $p \leq .000$ ). El análisis post hoc mostró que los participantes tardan menos en comenzar a mover la cabeza cuando el estímulo se presenta desde las regiones laterales (Lateral y Lateral Intermedia, derecha e izquierda).

#### *Análisis Cualitativo*

Se realizó para cada sujeto y para cada uno de los 8 estímulos, un gráfico resumen que mostraba el patrón de RMC obtenido en las 10 repeticiones en las posiciones evaluadas (120 gráficos de 15 participantes x 8 estímulos). Se seleccionó una muestra de 64 gráficos resumen para analizar los patrones de RMC, tomando en cuenta los siguientes parámetros: tipos de movimientos; rapidez/lentitud de los movimientos; precisión y

variabilidad de las trayectorias en las repeticiones.

A partir de este análisis, se definieron 2 estrategias para resolver la tarea, que denominamos: "*Estrategia de aproximación y ajuste*" -consistía en un primer movimiento rápido o sácade mayor que aproximaba la cabeza a la zona del parlante activo, luego el participante realizaba movimientos más pequeños o sácares menores para ajustar la precisión de la respuesta y por último se observaba un periodo de quietud- y "*Estrategia de sólo un sácade*" consistía en un sólo movimiento o sácade mayor lento que finalizaba cuando el participante daba su respuesta de localización. Seguidamente se clasificaron la totalidad de los gráficos.

Al comparar el rendimiento de los grupos teniendo en cuenta las estrategias, se observó que: el 80% de los participantes entrenados utilizó la estrategia de aproximación y ajuste para resolver la prueba, mientras que los restantes (20%) emplearon la estrategia de un sólo movimiento sacádico. Los participantes no entrenados realizaron ambas estrategias en similar proporción (60% y 40% respectivamente). Resta mencionar que los participantes entrenados que utilizaron la estrategia de aproximación y ajuste fueron más consistentes, es decir, sus patrones de RMC describían trayectorias similares en las repeticiones y también eran consistentes a través de las condiciones.

En relación a la distancia angular recorrida por la cabeza, se observó que los participantes de ambos grupos recorrieron una distancia promedio con la cabeza en grados que se ajustó al rendimiento ideal. Además, todos los participantes recorrieron más distancia que la distancia ideal en la región Casi Adelante. Sin embargo, el grupo de participantes entrenados mostró menor discrepancia entre la distancia total recorrida por la cabeza y la distancia ideal que el grupo de no entrenados precisamente en la región Casi Adelante.

## **Discusión**

Los resultados obtenidos revelaron que, al igual que en el estudio de Perrot y otros (1987), los participantes evidenciaron mayor precisión y consistencia en las regiones Casi Adelante y lo inverso para las regiones laterales, siendo mayores los errores y menor la consistencia en las regiones laterales más extremas. Estos resultados concuerdan con los alcanzados en experimentos de localización sonora clásicos, en los que el participante debe responder acerca de sus impresiones espaciales verbalmente o

apuntando con su mano, por ejemplo.

En síntesis, a partir del análisis cuantitativo realizado, se observó que:

- Las diferencias entre los rendimientos de participantes entrenados y no entrenados no alcanzaron niveles de significación estadística en ningún caso. Sin embargo, se observaron interesantes diferencias cualitativas que se explican más abajo. Una posible justificación podría ser el número desigual de sujetos y el hecho de que los participantes entrenados de esta investigación tuvieran menos experiencia profesional que en los estudios de aprendizaje implícito descritos anteriormente.

- La Posición del parlante siempre tuvo un efecto significativo sobre las variables dependientes estudiadas: en la región Casi Adelante los participantes fueron significativamente más precisos y su respuesta fue más consistente que en ambas regiones Laterales. La latencia inicial en esta región fue mayor aunque tardaron significativamente menos en dar su respuesta.

En las regiones Laterales se cometieron significativamente más errores y el rendimiento fue más variable.

- En cuanto al Estímulo en la prueba de sonidos directos: se evidenciaron mayores errores en las regiones Laterales como era de esperar, con estímulos de pulso único (UA/UR) que con trenes (TA/TR) en concordancia con la literatura previa. Y en la prueba de sonidos reflejados: cuando se presentaron estímulos configurados bajo condición experimental 'Con precedencia'- Discriminación de la retardada' el rendimiento de los participantes fue significativamente menos consistente que con los estímulos/condiciones de precedencia, principalmente se encontró mayor variabilidad en la Condición 'Con precedencia - Discriminación de la retardada', TAR. Este resultado está respaldado por una amplia literatura científica que demuestra que es más difícil discriminar un cambio de posición del sonido retardado que el del sonido directo (Litovsky y otros, 1999; Hachtabiboglu y Murtagh, 2006). También se evidenció menor consistencia en las respuestas de los participantes cuando el estímulo se emitía desde la región Lateral derecha. Es posible que este resultado refleje el efecto de asimetría descrito por Hachtabiboglu y Murtagh (2006).

A partir del análisis cualitativo se observaron interesantes diferencias entre los grupos:

- Los patrones de RMC reflejaron dos estrategias para resolver la tarea: "*Estrategia de aproximación y ajuste*" y "*Estrategia de sólo un sácade*". La

mayoría de los sujetos entrenados utilizó la primera de forma más consistente.

- Los participantes entrenados mostraron menor discrepancia entre la distancia total recorrida por la cabeza y la distancia ideal.

Es decir que, cualitativamente, los participantes entrenados tuvieron un rendimiento más preciso y consistente que los participantes no entrenados en concordancia con estudios previos sobre aprendizaje implícito en tareas de localización (Róder y otros, 1999; Münte y otros, 2001; entre otros).

Finalmente, los resultados obtenidos por estos participantes sin discapacidad evidencian un buen ajuste con los resultados reportados en la literatura previa, con lo cual se constituyen en adecuado grupo control con el cual contrastar el rendimiento de los participantes con discapacidad sensorial con los que se trabajará en un futuro.

### Referencias bibliográficas

- Arias C. y 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. A. y otros (2004). Movimientos de cabeza en la localización de sonidos y en ecolocación humana. *PIP CONICET N° 5753*.
- Blauert, J. (1997). *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*, Revised Edition. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Hachthabiboglu, H. y Murtagh, F. (2006). An observational study of the precedence effect. *Acta Acústica unit with Acústica*, 92, 440-456.
- Lítovsky, 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., Yost, W.A. y Guzman, S.J. (1999). The precedence effect. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106 (4), pp. 1633-1654.
- Mcadams (1993). Recognition of sound sources and events. Págs. 146-198. *In Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition*. Eds. S. Me Adams and E. Bigand. Oxford University Press.
- Münte, T.; Kohlmetz, C; Nagert, W. y Altenmüller, E. (2006). Superior auditory spatial tuning in conductors. *Nature*, 409, 1, 580.
- Perrott, D. R.; Ambarsoon, H. y Tucker, J. (1987). Changes in head position as a

measure of auditory localization performance: Auditory psychomotor coordination under monoaural and binaural listening conditions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 5, 1637-1644.

Perrott, D.R.; Saben, K; Brown, K. y Strybel, T. Z. (1990) Auditory psychomotor coordination and visual search performance. *Perceptions and Psychophysics*, 48, 214-226.

Roder, B.; Teder-Sáležárvi, W.; Sterr, A.; Róslér, F.; Hillyard, S. y Neville, H. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, 400, 162-166.

Thurlow, W.R.; Mangels J.W. y Runge P.S. (1967). Head movements during sound localization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 42, 2, 489-493.

Yost, W. (1991). Auditory image perception and analysis: The basis for hearing. *Hearing Research*, 55, 8-18.