



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008- A089

Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos en personas con y sin entrenamiento

Fernando Bermejo(a,b),
Cecilia Gómez (a,b),
Mercedes Hüg (a,b),
Claudia Arias(a,b),

(a) Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), FRC UTN, UA del CONICET. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. E-mail: fbermejo@psyche.unc.edu.ar

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

Abstract

One ongoing project of the Human Echolocation line of the CINTRA is allowing to approach a topic with scanty development: the dynamics cues involved in spatial hearing. Specifically, we are interested to describe the head movements that participants with and without sensory handicap realize in tests, when they must localize direct and reflected sounds and real obstacles without visual cues.

In this context, two complementary theses had been realized that deal with the location of direct sounds (Bermejo, 2007) and reflected sounds (Gómez, 2007) in participants without handicap and with and without training in spatial hearing.

In this presentation there are exposed the principal results of the first work, which aims were: a) to analyze the skill to face active sound sources using the information that direct sounds provide and b) to compare the performance between participants with and without training.

The results are in good agreement with those reported in the literature, the response of movement of head (RMC) is a valid measure to locate accurately sound sources. Some differences between the participants with and without training were: the first ones showed more precise and consistent RMC patterns and less discrepancy between the total distance crossed by the head and the ideal distance.

Resumen

Uno de los proyectos en curso de la línea de Ecolocación Humana del CINTRA está permitiendo abordar un tema con escaso desarrollo: claves dinámicas involucradas en audición espacial. Específicamente, se están caracterizando movimientos de cabeza que realizan participantes con y sin discapacidad sensorial en pruebas de localización de sonidos directos y reflejados y obstáculos reales, sin utilizar claves visuales.

En ese marco se realizaron dos tesis complementarias que abordaron la localización de sonidos directos (Bermejo, 2007) y reflejados (Gómez, 2007) en adultos sin discapacidad con y sin entrenamiento en audición espacial.

En esta presentación se exponen principales resultados del primer trabajo, cuyos objetivos fueron: a) analizar la habilidad para enfrentar fuentes sonoras activas utilizando la información que proveen sonidos directos y b) comparar el rendimiento entre participantes con y sin entrenamiento.

Los resultados apuntan en la misma dirección que en la literatura, en relación a que la respuesta de movimiento de cabeza (RMC) es una medida válida para localizar con precisión fuentes sonoras. Se observó además algunas diferencias entre los participantes con y sin entrenamiento: los primeros mostraron patrones de RMC más precisos y consistentes y menor discrepancia entre la distancia total recorrida por la cabeza y la distancia ideal.

1 Introducción

La línea de investigación interdisciplinaria “Ecolocación Humana” del Centro de Investigación de Transferencia en Acústica, CINTRA, UTN - 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- implica la utilización de sonidos autoproducidos para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven.

La ecolocación a distancias cercanas es la modalidad con mayor significación para la persona ciega porque le sirve para orientarse y protegerse y evitar el choque con obstáculos.

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, PIP CONICET N° 5753 (Arias, C.; Ramos, O. A. y otros 2004), está permitiendo abordar un tema con muy escaso desarrollo en la literatura científica: las claves dinámicas involucradas en la localización sonora y en la ecolocación. Su objetivo general consiste en caracterizar -sobre la base de un estudio pionero de 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 directos y reflejados y en una prueba de ecolocación con objetos reales.

Entre los resultados fructíferos del proyecto, caben mencionarse dos tesinas complementarias que abordaron la temática del aprendizaje perceptual al trabajar con adultos con visión normal con y sin entrenamiento en audición espacial en pruebas de localización de sonidos directos (Bermejo, 2007) y de sonidos reflejados (Gómez, 2007).

En el presente trabajo se expondrá el primero de los proyectos, cuyos objetivos fueron: analizar y comparar las RMCs que realizan participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial en función del tipo de estímulo y la posición de la fuente. Y analizar y comparar cualitativamente el patrón de RMCs que realizan participantes con y sin entrenamiento en tareas de audición espacial.

2 Marco Conceptual

2.1 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 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 (Perrot, Saberi, Brown, y Strybel 1990).

2.2 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.

Thurlow, Mangels y Runge (1967) describieron tres tipos de movimiento de cabeza que realizan participantes durante una prueba de localización sonora: rotación (izquierda/derecha), pivot (acercando oreja hacia hombro del mismo lado) y movimiento arriba/abajo (‘tip’).

Por su parte, Perrott, Ambarsoon y Tucker (1987) utilizando un sensor primitivo de movimiento de cabeza y trabajando a oscuras, examinaron la situación inversa: la capacidad del sujeto para orientar su cabeza basándose sólo en información acústica. Su tarea consistía en girar la cabeza tan pronto como comenzaba el sonido experimental hasta enfrenar la fuente sonora con la mayor precisión posible. Lo más sorprendente fue corroborar que una respuesta motora gruesa (movimiento de la cabeza) esté tan bien determinada sólo por la información auditiva especialmente en la región comprendida entre $\pm 30^\circ$ del plano medio del sujeto. Definen la variable respuesta de movimiento de cabeza, RMC: todos los movimientos de la cabeza desde que empieza hasta que termina de moverla. Observaron y describieron el patrón de RMC que, bajo condición binaural, se compone de una serie de movimientos discretos o sácaes. Este patrón resultó muy similar al patrón de un tipo de movimientos sacádicos de los ojos descrito en la literatura, a excepción de la mayor velocidad de estos últimos. Vincula estos resultados con la existencia hipotética de una íntima conexión entre el canal espacial auditivo y el sistema motor que permitiría que el sujeto se oriente hacia los eventos externos de manera análoga a un ‘mapa’ a través del cual se relaciona la posición percibida de la fuente sonora con la posición de la cabeza al final de la RMC.

2.3 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. Se entiende por aprendizaje, en este caso aprendizaje perceptual, aquellos cambios relativamente permanentes producidos por la experiencia. Cuando el sujeto está sometido a una práctica sostenida, por ejemplo en tareas de

audición espacial por su 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 (Röder, Teder-Sälejärvy, Sterr, Rösler, Hillyard y Neville, 1999) o directores de orquestas (Münste, Koohlmets, Nagert y Altenmüller, 2006), procesan de manera más eficiente los estímulos auditivos espaciales en condiciones más desfavorables. Por ejemplo, las personas entrenadas son más eficientes en las regiones laterales extremas, donde normalmente es difícil localizar sonidos sin entrenamiento.

3 Materiales y Métodos

Participantes: se evaluaron a 15 sujetos de ambos sexos, de entre 20 a 35 años de edad, con visión y audición normales. Recibieron retribución monetaria por participar del estudio 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; y el grupo b) no entrenados: integrado por 10 personas sin experiencia previa en tareas de localización sonora.

Las actividades desarrolladas por los técnicos de sonido y directores de coro implican un fuerte entrenamiento en localización sonora: el profesional de sonido verifica auditivamente el diseño de estereofonía que elaboró corroborando que un determinado sonido provenga del lugar planificado. El director de coro, por su parte, debe ser capaz de identificar auditivamente la posición de las distintas voces para dirigir dinámicamente las modificaciones que hicieran falta durante la ejecución de la pieza musical.

Estímulo: Utilizamos 4 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 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). El ancho de ambas señales únicas fue de 25 ms con un tiempo de subida/bajada del 10 % (ver figura N° 1).

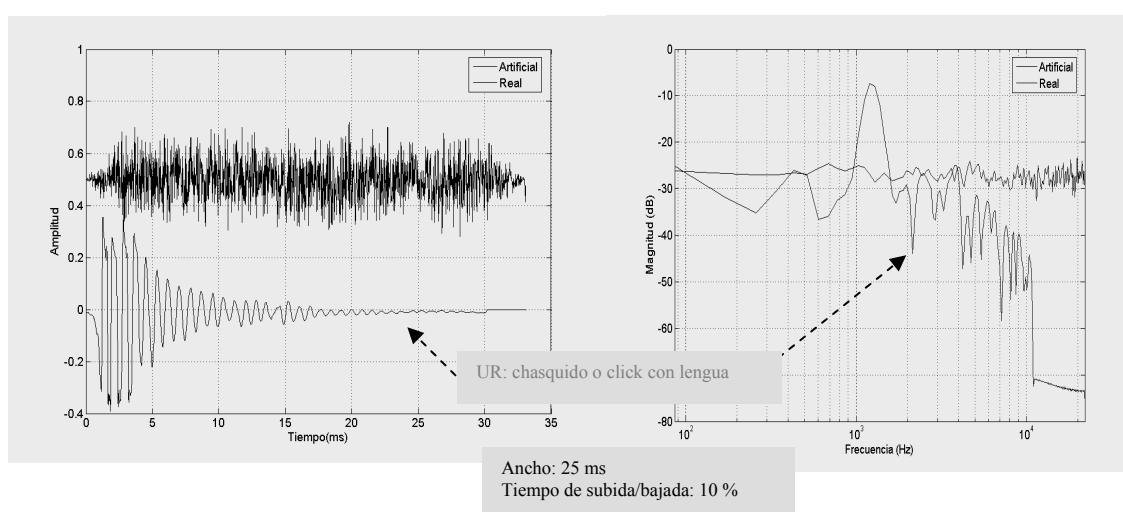


Figura 1

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 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. Ver el esquema del arreglo experimental en la figura N° 2.

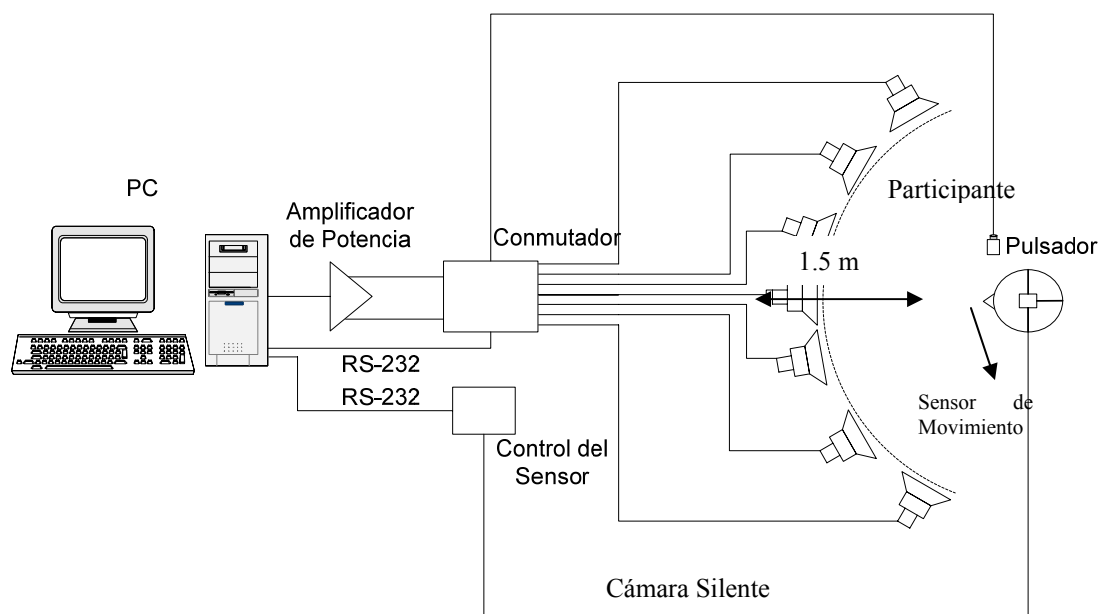


Figura. Arreglo experimental

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. Su tarea consistía en: enfrenar 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 enfrenar 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.

Las variables bajo estudio fueron: Entrenamiento (entrenados y no entrenados), Estímulo (UA, UR, TA, TR) 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 240 ensayos en total (4x6x10 repeticiones en cada posición espacial). Se aleatorizó el orden de presentación de los estímulos y de las posiciones de la fuente para cada condición (fija dentro de un bloque).

Las variables dependientes medidas fueron: *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 - 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°-; *distancia total recorrida promedio en grados* es la distancia que recorre la cabeza desde que comienza el estímulo hasta que el participante responde.

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 y la distancia total recorrida promedio en grados (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-).

4 Resultados

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 ($F(15,135)=10,98$; $p \leq .000$). 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 hemisferios. En relación a las latencias iniciales promedio ($N=10$) observamos por una parte, que los participantes tardan más en comenzar a mover la cabeza cuando el estímulo se presenta desde las regiones Casi adelante.

Con respecto al análisis cualitativo, se graficaron para cada sujeto y para cada uno de los 8 estímulos, un gráfico resumen mostraba el patrón de RMC obtenido en las 10 repeticiones en las posiciones evaluadas (120 gráficos de 15 participantes x 8 estímulos). Seleccionamos 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: A) 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 (ver figura N° 3) y B) Estrategia de sólo un sácade -consistía en un sólo movimiento o sácade mayor lento que finalizaba cuando el participante daba su respuesta de localización- (ver figura N° 4). Seguidamente, se clasificaron la totalidad de los gráficos y se comparó cualitativamente el rendimiento de los grupos según las estrategias reflejadas en los patrones de RMC.

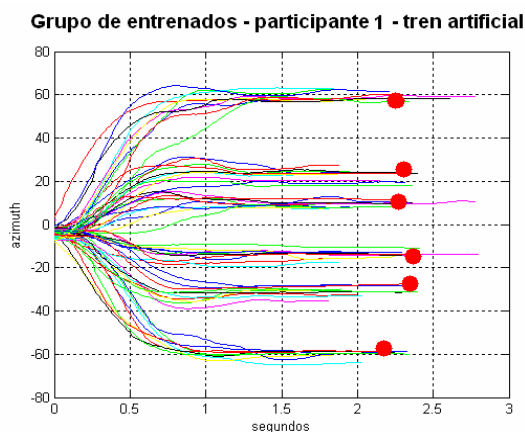


Figura 3. Estrategia de aproximación y ajuste

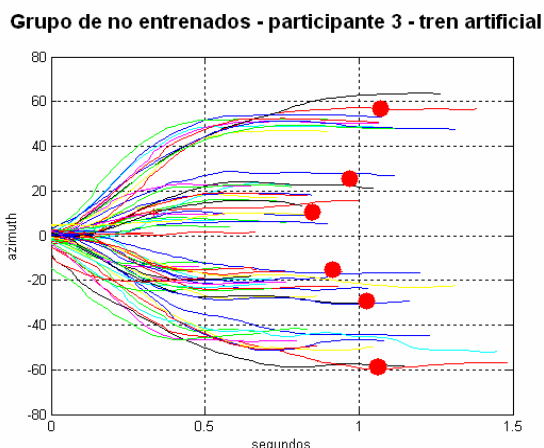


Figura 4. Estrategia de un solo sácade

Nota aclaratoria: los círculos dentro de los gráficos de las figuras 1 y 2 indican la posición de los parlantes.

En función de esto 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 mas 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.

5 Discusión

Los resultados obtenidos 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 obtenidos en experimentos de localización sonora clásicos en los que el participante debía responder acerca de sus impresiones espaciales verbalmente o apuntando con su mano, por ejemplo.

Perrott y otros (1987) concluyeron que una respuesta motora gruesa, como es el movimiento de cabeza, puede ser muy precisa aún cuando se cuente sólo con información auditiva, especialmente en la región comprendida entre $\pm 30^\circ$ del plano medio del sujeto. Los errores sistemáticos cometidos por sus participantes en las regiones laterales más externas siempre fueron de subestimación al igual que los errores cometidos por los participantes de esta investigación. En este sentido los autores señalan que no se conoce qué factores determinan la “sensación subjetiva” de estar apuntando con la cabeza hacia una fuente sonora.; parte de este efecto podría deberse al hecho de que enfrentar una fuente sonora en ausencia de información visual esté determinado tanto por la información propioceptiva sobre el grado de rotación de la cabeza como por el desplazamiento lateral de los ojos en relación a la cabeza. Mientras que la posición final de la cabeza subestima la posición real del parlante, la posición de los ojos bien puede sobrestimar esta misma posición.

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 luego. Una posible justificación podría ser el número desigual de sujetos y el hecho que los participantes entrenados de esta investigación tuvieran menos experiencia profesional que en los estudios de aprendizaje implícito referenciados.

- 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. La latencia inicial fue menor, aunque tardaron significativamente más tiempo en responder.

- En cuanto al Estímulo 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.

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, es decir con menor variabilidad.

- Los participantes entrenados mostraron menor discrepancia entre la distancia total recorrida por la cabeza y la distancia ideal. En otras palabras, la distancia recorrida por los participantes entrenados se acercó más al ideal - i.e. mínima distancia total recorrida si se hubiera realizado un único y preciso movimiento de cabeza- que la recorrida por los no entrenados.

- A partir de similitudes entre los patrones de RMC, identificamos 2 condiciones fáciles (trenes pulsos) y 2 condiciones difíciles (pulsos únicos).

Es decir que, cualitativamente, los participantes entrenados tuvieron un rendimiento más preciso y consistente que los participantes no entrenados en concordancia con los resultados obtenidos en estudios previos sobre aprendizaje implícito en tareas de localización (Röder y otros, 1999; Münte y otros, 2001; entre otros). Estas investigaciones sostienen que participantes sometidos a aprendizaje implícito, es decir a una práctica sostenida de tareas de audición espacial por su profesión, actividad laboral o discapacidad sensorial evidencian un mejor rendimiento.

En síntesis, los resultados obtenidos por estos participantes con visión y audición normales evidencian un buen ajuste con los resultados reportados en la literatura previa con lo cual se constituyen en adecuado grupo control contra en cual contrastar el rendimiento de los participantes con discapacidad sensorial con los que trabajaremos en un futuro próximo.

Referencias bibliográficas

- Arias, C.; Ramos, O. A. y otros (2004). "Movimientos de cabeza en la localización de sonidos y en ecolocación humana". PIP CONICET N° 5753.
- Bermejo F. (2007). "Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos en participantes entrenados y no entrenados". Tesis de grado, Lic. en Psicología. Fac. de Psicología, UNC. Córdoba.
- Blauert, J. (1997). "Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization". Revised Edition. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Gómez C. (2007). "Movimientos de cabeza en la localización de sonidos reflejados en participantes entrenado y no entrenados". Tesis de grado, Lic. en Psicología. Fac. de Psicología, UNC. Córdoba.
- McAdams (1993). "Recognition of sound sources and events. Págs. 146-198. In Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition". Eds. S. Mc 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 monaural and binaural listening conditions". *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 5, 1637-1644.
- Perrott, D.R.; Saberi, K; Brown, K. y Strybel, T. Z. (1990). "Auditory psychomotor coordination and visual search performance". *Perceptions and Psychophysics*, 48, 214-226.
- Röder, B.; Teder-Sälejärvi, W.; Sterr, A.; Rösler, 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.