

MOVIMIENTOS DE CABEZA EN UNA PRUEBA DE ECOLOCACIÓN

Oscar A. Ramos^a, Claudia Arias^{a,b}, Fabián Tommasini^a, Aldo H. Ortiz Skarp^a, David A. Novillo^c, Fernando Bermejo^{a,b}, Mercedes Hüg^{a,b}, Valentín Lunati^a

^aCentro 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, oramos@scdt.frc.utn.edu.ar, <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>

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

^cCentro Universitario de Desarrollo en Automación y Robótica, CUDAR, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, M. M.López esq. Av. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina, <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cudar/>

Keywords: Ecolocación humana, Movimientos de cabeza, Herramienta de investigación

Resumen: En situaciones de alta incertidumbre espacial -cuando no se sabe para dónde mirar o cuando no se disponen de claves visuales- la potencia del sistema auditivo para proveer información espacial útil es excelente. La persona ciega está inmersa en esta última situación, por lo que debe apoyarse fundamentalmente en la audición y el tacto activo para desenvolverse en su vida diaria.

Una habilidad crucial para el logro de la movilidad independiente de la persona ciega, uno de los aspectos más afectados por la ceguera, es la ecolocación. Se la define como la habilidad de auto-producir sonidos con el propósito específico de obtener información del entorno para localizar, reconocer e identificar objetos que no se ven. Se considera que la ecolocación y el tacto activo son conductas de lazo cerrado en las que el sujeto modula la acción para controlar la percepción.

Por otra parte, la mayoría de los estudios científicos sobre localización sonora están referidos a situaciones estáticas, a pesar del valor reconocido que tienen las claves dinámicas en audición espacial. Al respecto, es oportuno mencionar que en una investigación sobre ecolocación realizada a comienzos de los 60', se describió una conducta de exploración auditiva similar a la estrategia que usan marsopas y delfines cuando ecolocan en agua turbia, realizada sólo por los participantes ciegos: mientras emitían la señal de ecolocación, rotaban la cabeza de un lado a otro en ángulos variables entre 5° a 45° del plano medio.

Uno de nuestros proyectos en curso nos está permitiendo caracterizar los movimientos de cabeza que realizan participantes con y sin discapacidad sensorial (ceguera y sordera profunda unilateral) en tres pruebas auditivas sin claves visuales: localización de sonidos directos, localización de sonidos reflejados y prueba de ecolocación.

En este artículo se presentan principales aspectos teóricos involucrados y se detallan cuestiones metodológicas implicadas en el diseño, construcción y validación de la herramienta de investigación utilizada para implementar la prueba de ecolocación, cuyo requerimiento crítico consistía en registrar simultánea y sincrónicamente el movimiento de cabeza y la emisión de la señal de ecolocación.

1 INTRODUCCION

El sistema auditivo es un sofisticado procesador espacial que le permite al organismo detectar y monitorear las posiciones de objetos sonoros en tres dimensiones, facilitándole además, el reconocimiento e identificación de los mismos. Una persona normal tiene una inmediata apreciación del espacio auditivo en el sentido de que su orientación hacia el evento acústico es natural, rápido y generalmente, exacto (Grantham, 1995).

Por otra parte, la agudeza auditiva espacial en los humanos es pobre comparada con la agudeza visual, por lo que la visión es el canal sensorial óptimo para la adquisición de la información espacial. Sin embargo, la resolución visual es óptima sólo dentro de una “ventana frontal” relativamente angosta de 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 dónde está mirando. Además, mientras que la luz viaja en línea recta, los sonidos se propagan alrededor de la mayoría de los objetos o se reflejan en ellos, por lo que el escucha puede disponer de información espacial de objetos que no pueden verse. En situaciones de alta incertidumbre espacial cuando no se sabe para dónde mirar o cuando no se dispone de claves visuales, la potencia del sistema auditivo para proveer información espacial útil es excelente (Perrott *et al.*, 1990).

La persona ciega está inmersa en esta última situación, por lo que debe apoyarse fundamentalmente en la audición y el sentido háptico (tacto activo) para desenvolverse en su vida diaria. Una habilidad crucial para el logro de su movilidad independiente, uno de los aspectos más afectados por la ceguera, es la ecolocación -objeto de estudio de la línea de investigación homónima que hemos abierto en el país hace más de dos décadas y media. Se trata de la habilidad de auto-producir sonidos con el propósito específico de obtener información del entorno para localizar, reconocer e identificar objetos que no se ven. A la luz de los nuevos paradigmas teóricos, hemos considerado a la ecolocación y el tacto activo como conductas de lazo cerrado, en las que el sujeto modula la acción para controlar la percepción, a la inversa de lo que ocurre con otros sistemas perceptuales típicos de lazo abierto (Stoffregen y Pittenger, 1995; Arias, 2009a).

Resulta oportuno mencionar además, que la mayoría de los estudios científicos sobre la habilidad de sujetos con visión normal de extraer información espacial del ambiente a través de la vía auditiva, están referidos a situaciones estáticas. 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 sujetos pueden detectar fuentes sonoras estáticas cuando se les permite mover libremente la cabeza o en situaciones dinámicas, i.e., fuente sonora estática y sujeto en movimiento o fuente móvil y sujeto estático o ambos en movimiento.

Uno de nuestros proyectos en curso -que cuenta con subsidio del CONICET, con el cual hemos adquirido un moderno sensor de movimientos y construido herramientas de investigación especialmente diseñadas para implementar la etapa experimental- nos está permitiendo caracterizar los movimientos de cabeza que realizan participantes con y sin discapacidad sensorial (ceguera y sordera profunda unilateral) en tres pruebas auditivas sin claves visuales: localización de sonidos directos, localización de sonidos reflejados y prueba de ecolocación.

En este artículo se presentan principales aspectos teóricos involucrados y se detallan cuestiones metodológicas implicadas en el diseño, construcción y validación de la herramienta de investigación utilizada para implementar la prueba de ecolocación, la cual debía cumplir con el requerimiento crítico de registrar simultáneamente y en perfecta sincronía, el movimiento de cabeza y la emisión de la señal de ecolocación.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Consideraciones generales

La mayor parte de lo que se conoce sobre audición, se relaciona con el procesamiento auditivo periférico y este conocimiento se ha generado de estudios llevados a cabo en condiciones artificiales y con sonidos muy diferentes a los encontrados en la vida real.

Desde los nuevos enfoques teóricos, 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 et al., 1992; McAdams, 1992). Es una habilidad crucial utilizada regularmente, aunque ha recibido escasa atención científica. Resulta absolutamente notable, si tomamos 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 -que evolucionó de manera de explotar esa valiosa propiedad del sonido- extrae información de las dimensiones físicas de la fuente (posición, distancia, naturaleza). De esta manera, el centro de interés en las ciencias acústicas se ha desplazando desde los aspectos psicoacústicos de los fenómenos auditivos, a los aspectos cognitivos y ecológicos de la audición de reciente desarrollo, que estudian habilidades auditivas utilizadas en la vida diaria (Masterton, 1992).

Por otra parte, el estudio de la audición, tanto desde el enfoque tradicional como desde los nuevos abordajes, 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 (por ejemplo, el médico que percute la espalda del paciente con fines diagnósticos). 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 y nuevamente cuando se refleja en las superficies del entorno.

Además, como mencionamos, la mayoría de las investigaciones sobre audición espacial se han realizado en situaciones estáticas alejadas de la realidad cotidiana, donde prácticamente todo el tiempo se disponen de claves dinámicas auditivas.

Un ejemplo contundente que vincula naturalmente los conceptos mencionados, lo brinda el murciélago y su extraordinaria habilidad para volar y alimentarse sin claves visuales, vía la ecolocación. En relación a los humanos, recientemente se ha argumentado que podrían usar la ecolocación regularmente sin ser conscientes de ello (Stoffregen y Pittenger, op. cit.).

Según los nuevos enfoques ecológicos, el grado de eficiencia con el que una especie en particular puede procesar ciertas fuentes sonoras (secundarias) biológicamente relevantes - el caso mencionado del murciélago, por ejemplo- puede considerarse una variación del tema general que describe cómo los sistemas auditivos determinan las fuentes sonoras (Yost, op. cit.).

2.2 Ecolocación: una conducta de lazo cerrado

La línea de investigación interdisciplinaria *Ecolocación Humana* del CINTRA UTN- UA CONICET, apunta a promover el desarrollo de habilidades perceptuales inexploradas. Su objeto de estudio es la ecolocación, habilidad crucial para el logro de la movilidad eficiente de la persona ciega. Se trata de un fenómeno perceptual -enmarcado en el área tan

escasamente estudiada como promisorio de los procesos cognitivos de la audición cotidiana de sonidos no verbales- que implica la utilización de sonidos autoproducidos para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven.

En la ecolocación, la información acerca del sistema animal-ambiente se obtiene de un estímulo relacional singular llamado pulso-eco. El pulso (señal directa) es el frente de onda generado por el receptor que llega directamente a sus oídos desde la fuente. El eco es el mismo sonido que llega a los oídos después de haberse reflejado en los objetos y superficies del entorno. En otras palabras, la energía del estímulo autogenerada se propaga en el ambiente (señal directa), es estructurada por éste (reflexión en la superficie del objeto) para luego retornar al receptor (señal reflejada). La información relevante se encuentra en las relaciones entre los patrones de energía de salida y los patrones de energía que regresan ([Stoffregen y Pittenger, op. cit.](#)).

Se han descriptos dos modalidades complementarias de ecolocación: a larga y corta distancia. En esta última, la señal directa o autoproducida -chasquidos de dedos, clicks con la lengua, golpeteo del bastón son algunas de las señales de ecolocación más comunes, que espontánea e intuitivamente genera la mayoría de las personas discapacitadas visuales- y la reflejada no se perciben separadas sino fusionadas ([Schenkman, 1985](#)). Es la que mayor significación tiene en la vida diaria de una persona ciega, ya que le sirve no sólo para orientarse en el espacio sino además, para proteger su integridad física al evitar el choque contra obstáculos eventuales.

El propósito general de la línea, que reconoce más de 25 años de trabajo sostenido, consiste en avanzar en la comprensión del proceso de ecolocación humana y sus mecanismos subyacentes, en pos de sentar las bases teóricas de un programa de entrenamiento destinado a la persona ciega. Para este fin, valiéndonos de tres sistemas (dos computarizados y uno manual) enteramente diseñados y contruidos por el equipo ([Ramos, et al., 2001](#)), se han llevado a cabo una serie de pruebas especialmente diseñadas para analizar la ecolocación a distancias cercanas y su relación con dos fenómenos de fusión auditiva supuestamente involucrados: la altura tonal de la repetición y el efecto precedente. También se compararon funciones auditivas periféricas y centrales de personas ciegas con buena habilidad de ecolocación y personas con visión normal y se comenzó a indagar acerca del intrigante fenómeno de la “visión facial” -aspecto particular referido a la sensación cutánea que algunas personas, tanto ciegas como con visión normal, sienten en el rostro ante la cercanía del objeto ([Arias et al., 1993a](#); [Arias y Ramos, 2003](#); [Arias et al., 2005](#); [Arias, 2009b](#)). Actualmente estamos involucrados en tres temas de candente actualidad: audición espacial en infantes ciegos y con visión normal ([Hüg y Arias, 2009](#)); claves dinámicas en localización sonora y en ecolocación ([Arias et al., 2007a y b](#); [Bermejo et al., 2008](#)) y la ecolocación humana a la luz de la teoría del acoplamiento sensoriomotor y de los avances realizados en el campo de la sustitución sensorial ([Arias et al., 2009c](#)).

Según recientes paradigmas teóricos, hemos considerado que la ecolocación y el tacto activo son conductas de lazo cerrado -esto es, la salida realimenta a la entrada por lo que la salida depende de la entrada y de ella misma- en las cuales el sujeto modula la acción para controlar la percepción, a la inversa de lo que ocurre con otros sistemas perceptuales de lazo cerrado típicos, en los que la percepción controla la acción. En el caso particular del tema que nos ocupa, la acción está representada principalmente por la autoproducción de sonidos y los movimientos exploratorios que realiza el sujeto (por ejemplo, movimientos exploratorios con la cabeza). El control de la percepción alude al ajuste que realiza para percibir según determinados patrones aprendidos implícitamente por el individuo, probablemente como Gestalts auditivas ([Arias, 2008](#)).

2.3 Movimientos de cabeza durante la localización de sonidos

Como mencionamos, a pesar del valor reconocido que tienen las claves dinámicas en audición espacial, existen pocos trabajos científicos que dan cuenta de la precisión con que los sujetos pueden detectar fuentes sonoras estáticas cuando se les permite mover libremente la cabeza o en situaciones dinámicas, i.e., fuente sonora estática y sujeto en movimiento o fuente móvil y sujeto estático o ambos en movimiento.

En relación al primer tópico, [Thurlow et al. \(1967a\)](#) estudiaron la naturaleza y magnitud de los cambios angulares en la posición de la cabeza mientras un sujeto intentaba localizar la dirección de una fuente sonora. Describen tres tipos de movimiento: rotación (izquierda/derecha), pivot (oreja hacia hombro del mismo lado) y movimiento arriba/abajo ('tip').

[Perrott et al. \(1987\)](#), 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 enfrentar 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 sácades. 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. Vinculan 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.

Por nuestra parte, incursionamos en la temática a través del proyecto mencionado en el primer apartado (PIP N° 5753). Específicamente, la propuesta consiste en caracterizar -siguiendo lineamientos teóricos y metodológicos de un estudio pionero ([Perrott et al., op. cit.](#))- los movimientos de cabeza que realizan participantes adultos con y sin discapacidad sensorial (ceguera o sordera profunda unilateral) en tres pruebas auditivas: localización de sonidos directos, localización de sonidos reflejados y prueba de ecolocación.

Llevamos a cabo una serie de estudios donde evaluamos adultos sin discapacidad sensorial con y sin entrenamiento en audición espacial en las dos primeras pruebas. Ello implicó el diseño y construcción de la herramienta de investigación Sistema de Movimiento de Cabeza, SiMC, que se compone de un conjunto de seis parlantes dispuestos en un semicírculo, un dispositivo que deriva las señales a los parlantes, un sensor de movimiento comercial y un programa informático para la administración y recolección de los datos.

Los resultados tomados en su conjunto, acordaron con el estudio de referencia mencionado y con investigaciones sobre el efecto precedente (entre otros: [Litovsky et al., 1999](#); [Litovsky y Shinn-Cunningham, 2001](#)): mostraron que la tarea de girar la cabeza hasta enfrentar exactamente la fuente, arroja similares resultados que los obtenidos en estudios estáticos de localización sonora con tareas clásicas (por ejemplo, respuestas verbales o señalar con la mano en la dirección de la fuente sonora) y estudios de agudeza auditiva espacial, medida con la técnica del mínimo ángulo audible, MAA, para sonidos directos y sonidos configurados bajo condición de precedencia. Los participantes fueron muy precisos y consistentes en la región comprendida entre $\pm 5^\circ$ y $\pm 15^\circ$, independiente de los estímulos utilizados aunque

tardaron más en iniciar el movimiento y recorrieron mayor distancia angular comparada con la distancia ideal, en la condición experimental más difícil (efecto precedente – discriminación de la retardada). El análisis cualitativo del patrón de respuesta de movimiento de cabeza permitió definir dos tipos de estrategias: de aproximación y ajuste y de un sólo sácade. La primera consistía en un primer movimiento rápido o sácade mayor que aproximaba la cabeza a la zona donde estaba ubicada la fuente, luego el participante realizaba sácares menores para ajustar la precisión de la respuesta y por último se observaba un periodo de quietud. La segunda fue más directa y consistía en un sólo movimiento o sácade mayor lento que finalizaba cuando el participante daba su respuesta de localización. Los participantes entrenados tuvieron un rendimiento cualitativamente más preciso y consistente en ambas pruebas, que los no entrenados, en concordancia con los resultados obtenidos en estudios previos sobre aprendizaje implícito en tareas de localización sonora (Arias *et al.*, 2007, *ops. cit.*; Bermejo *et al.*, *op. cit.*).

En síntesis, los resultados obtenidos por nuestros participantes con visión y audición normales evidencian un buen ajuste con los resultados de estudios previos, con lo cual se constituyen en adecuado grupo control contra el cual contrastar el rendimiento de los participantes con discapacidad sensorial que estamos evaluando actualmente.

2.4 Movimientos de cabeza en ecolocación

Kellogg (1962) estudió la habilidad de ecolocación de dos sujetos ciegos con muy buena movilidad independiente y dos controles con visión normal ocluida. Describe una conducta observada claramente sólo en los sujetos ciegos: rotan la cabeza de un lado y a otro en ángulos que varían entre 5° a 45° del plano medio mientras emiten la señal de ecolocación. Señala la importancia de esta conducta que denomina “exploración auditiva”, en tanto es muy similar a la estrategia que usan las marsopas y delfines cuando localizan un objeto en agua turbia. Estos movimientos laterales de la cabeza producen una modulación continua de las diferencias de intensidad y fase de los ecos que llegan a los oídos. Al acentuarse las diferencias interaurales, el sujeto logra mayor precisión para localizar el objeto. Señala un hecho sorprendente, que también corroboramos en uno de nuestros estudios (Arias, 1996): uno de los sujetos ciegos movía la cabeza de arriba a abajo (‘tip’) mientras emitía su señal de ecolocación como si estuviera tratando de “apuntar” con el sonido al objeto para detectar bordes.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 Prueba de ecolocación

La prueba se resuelve a oscuras en la cámara silente del CINTRA. El participante permanece sentado con un pulsador en las manos y con el sensor de movimientos (Patriot de Pholemus) adherido a una vincha colocada sobre la cabeza.

En cada ensayo, el experimentador coloca el objeto experimental (placa cuadrada de vidrio de 30 cm x 30 cm) aleatoriamente, en una de ocho posiciones predeterminada dentro del plano frontal. La tarea del participante consiste en autoproducir sonidos con la boca (señal de ecolocación) para generar reflexiones y explorar el ambiente moviendo libremente la cabeza con el fin de localizar el objeto experimental. Cuando juzga que tiene suficientes datos para responder, apunta con su nariz al centro aproximado del objeto y aprieta un pulsador para indicar su respuesta, con lo cual el ensayo finalizará.

Las variables bajo estudio son: posición del objeto, definida por sus coordenadas

espaciales (azimut, elevación y distancia sujeto-objeto) y según un criterio ecológico: dentro de la región significativa para una persona ciega que se desplaza por ella, en tanto debe percibir objetos presentes para evitar colisionar con ellos (i. e., entre 75 cm y 150 cm de distancia, $\pm 45^\circ$ de azimuth y $\pm 15^\circ$ de elevación). Las posiciones son: $45^\circ, 0^\circ, 75$ cm; $0^\circ, 0^\circ, 75$ cm; $-45^\circ, 0^\circ, 75$ cm; $45^\circ, 15^\circ, 75$ cm; $0^\circ, 15^\circ, 75$ cm; $-45^\circ, 15^\circ, 75$ cm; $0^\circ, 0^\circ, 150$ cm; $0^\circ, 15^\circ, 150$ cm.

La prueba consta de 80 ensayos en total (8 posiciones x 10 repeticiones en cada posición) y el rendimiento del participante se mide a partir de los siguientes parámetros: *error constante*, *EC* (diferencia promedio entre la posición real del objeto y la posición percibida); *error variable*, *EV* (desviación estándar de la diferencia promedio mencionada); *duración promedio de ensayos según posición*. Se registra además, el *PMCS* -i.e., patrón de movimiento de cabeza sincronizado con el patrón de autoproducción del sonido de ecolocación.

3.2 Herramienta de investigación: SiMCE

El Sistema de Movimiento de Cabeza para Ecolocación, SiMCE, permite diseñar y administrar pruebas específicas, registrar y evaluar el rendimiento del participante. Consta de dos partes: un dispositivo de soporte del objeto (SO) y un programa informático.

3.2.1 Dispositivo de Soporte

EL SO se compone de un mástil de madera de 1.6 m de altura, cubierto con material absorbente y adherido, en uno de los extremos, a una base adecuada. En el otro extremo, un brazo sostiene el objeto y puede ser fijado al mástil a diferentes alturas. Además, es posible variar la inclinación del objeto de manera que el ángulo que forma este y una línea imaginaria que une el centro del objeto y el centro de la cabeza sea perpendicular. El rango de variación es de $\pm 30^\circ$ (Figura 1).

Al comienzo de cada ensayo, el soporte se ubica manualmente en una posición predefinida que proporciona aleatoriamente el programa (se debe recordar, que una posición está definidas por la distancia, azimut y elevación del objeto).

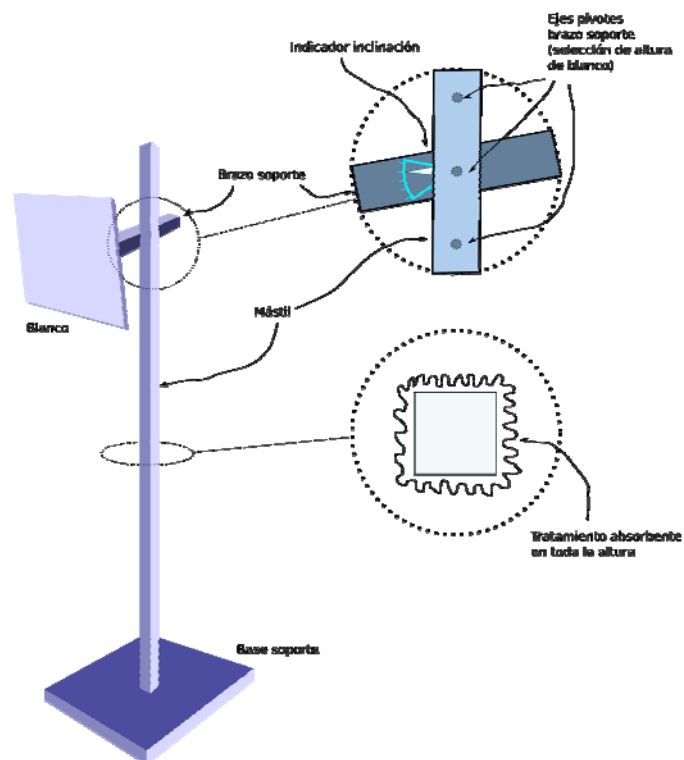


Figura 1. Soporte del objeto

3.2.2 Programa informático

El programa permite diseñar y administrar la prueba de ecolocación, registrar los resultados y evaluar el rendimiento del participante. El diseño de la prueba consiste en definir a priori las variables bajo estudio (por ejemplo: posición del objeto definida por la distancia y los ángulos de azimut y elevación; tipo de señal de ecolocación) y cantidad de repeticiones en cada condición experimental. La prueba está compuesta de una serie de ensayos donde las variables bajo estudio se mantienen fijas. Los ensayos se ejecutan uno a continuación del otro con la salvedad de que los valores de las variables se eligen de manera aleatoria. Al final de cada ensayo se graban en el disco de la PC, el sonido producido y los movimientos de cabeza. Antes de continuar con el ensayo siguiente, el programa genera y se visualiza en pantalla de la PC, los valores próximos de las variables. A posteriori, es posible procesar los datos obtenidos para determinar el rendimiento del participante.

A modo de síntesis, el programa permite:

- ✓ Gestionar información acerca del participante: datos filiatorios, condición visual, prueba realizada, entre otros. Esta información se guarda en una base de datos por lo que puede (o no) ser ingresada con anterioridad a la toma de la prueba.

- ✓ Diseñar una prueba: definir variables (posición del objeto, forma del objeto, señal de ecolocación; cantidad de repeticiones para cada condición experimental; tipo de aleatorización en la presentación de ensayos.
- ✓ Administrar la prueba (diseñada según las variables definidas en el punto anterior) y almacenar los datos del rendimiento del participante (ver punto 3.1)
- ✓ Procesar los datos obtenidos y exportar a formatos compatibles con programas estadísticos.

El procedimiento de administración de la prueba se realiza como se explica a continuación:

1) El experimentador elige la prueba diseñada con anterioridad y selecciona el participante al que le tomará la prueba, si ya está ingresado en la base de datos; caso contrario, lo registrará pulsando la opción “Nuevo participante”. A continuación se abre la ventana de administración de la prueba que contiene botones de “Comienzo” y “Continuar”.

2) Al pulsar “Comienzo”, el programa genera la secuencia aleatoria en la que se presentarán los ensayos e inmediatamente aparece en pantalla, los datos de posición y/o forma del objeto experimental que el participante debe localizar/reconocer en el primer ensayo. Con estos datos, el experimentador manipula el SO convenientemente y lo ubica de forma manual, en la posición indicada.

3) Al pulsar “Continuar” se da comienzo al primer ensayo, con lo cual se pone en marcha el registro simultáneo de los movimientos de cabeza y la autoproducción de la señal de ecolocación que realiza el participante. El experimentador le indica verbalmente que puede comenzar la tarea para cumplir con la consiga.

4) Cuando el participante juzga que está en condiciones de responder, aprieta un pulsador con lo cual se detiene el registro del rendimiento del participante y el experimentador puede ingresar la respuesta verbal que da el sujeto (prueba de reconocimiento) o alguna observación que estime conveniente consignar. También aparece en pantalla los datos de posición y/o forma del objeto experimental del próximo ensayo para que el experimentador proceda según se explicó en el punto 2.

5) El experimentador pulsa el botón “Continuar” para presentar el siguiente ensayo procediendo como se explicó y así prosigue hasta finalizar la prueba. También el experimentador puede pausar la toma de la prueba y retomarla en otro momento, en el estado en el que se interrumpió.

El programa computacional fue desarrollado en lenguajes de programación C++ y C# (Sharp) y para almacenar los datos se empleó el sistema de gestión de base de datos SQLServer 2005 Express.

3.3 Validación Objetiva

El programa debía cumplir con el requerimiento crítico de registrar simultáneamente el movimiento de cabeza y la emisión de la señal de ecolocación realizados por el participante. Ambos conjuntos de datos deben estar perfectamente sincronizados para poder analizar el PMCS (patrón de movimiento de cabeza sincronizado con el patrón de autoproducción del

sonido). Para capturar los datos del movimiento de cabeza a través del sensor, se optimizó una serie de librerías que provee el fabricante y para capturar los sonidos de ecolocación, se apeló a librerías de código abierto en .net de NAudio. Ambas capturas se realizan en paralelo utilizando la técnica de programación conocida como “multithreading” (multi hilo).

Para validar el procedimiento de sincronización, se construyó un dispositivo que consiste en una rueda de acrílico con perforaciones de un milímetro cada 10° . Un emisor y sensor infrarrojo generan un pulso de tensión muy angosto cada vez que una perforación pasa por el sensor infrarrojo (Figura 2). El centro del sensor de movimientos fue fijado al centro de la rueda. La validación consistió en grabar simultáneamente la posición del sensor de movimientos y los pulsos de tensión digitalizados por la placa de sonido de la PC.

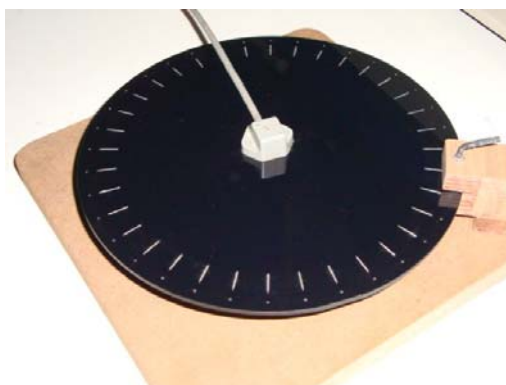


Figura 2: Dispositivo para validar el PMCS

Para comparar ambos registros se desarrolló un programa en Matlab. En primer lugar, el programa reconstruye los pulsos de tensión generados por el sensor infrarrojos grabados con la placa de sonido de la PC (Figura 3a). En trazo negro se ven los pulsos grabados y en trazo rojo los reconstruidos para un giro de la rueda de 180° . Estos últimos se utilizaron como “mojones” que indican una variación de 10° . Se sobre muestreó el registro del sensor de movimientos, debido a las diferentes frecuencias de muestreo de este (60 Hz) y la placa de sonido (22050 Hz). En la Figure 3b se superponen los mojones (en negro), el registro del sensor de movimientos (en rojo) y en círculos negros se marcan las variaciones de 10° , obtenidos de los datos del sensor de movimientos. La media del error de sincronismo fue de 27 ms y la desviación estándar fue de 15.2 ms. Si se tiene en cuenta que existe una incertidumbre de 20 ms, debido a la latencia del sensor de movimientos, los valores del error pueden ser menores.

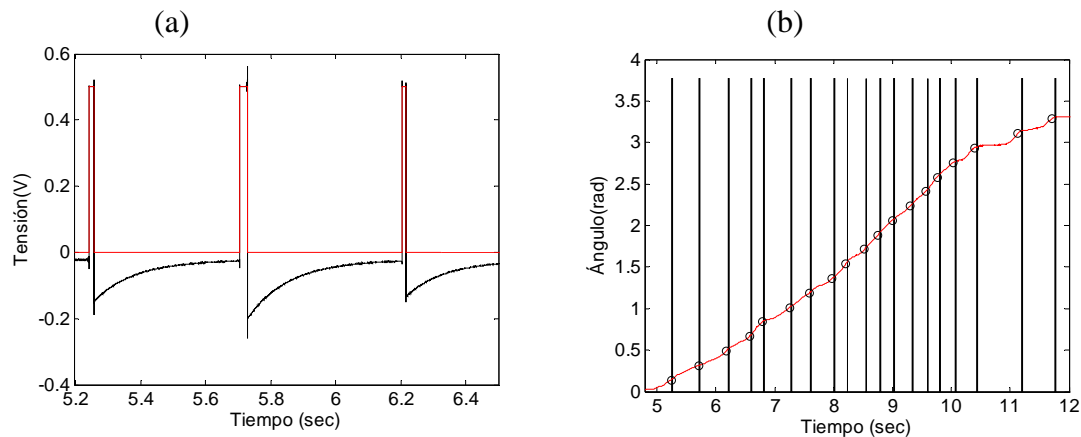


Figura 3: En (a) se muestran los pulsos grabados (en negro) y los reconstruidos (en rojo). En (b) se superponen los “mojones” (negro); el registro del sensor de movimientos (rojo) y sobre este, las variaciones de 10° (círculos en negro)

3.4 Validación Subjetiva

La Figura 4 muestra el PMCS realizado por un participante para un objeto ubicado en la posición definida por: $\text{azimut}=0^\circ$; $\text{elevación}=0^\circ$ y $\text{distancia}=150\text{ cm}$.

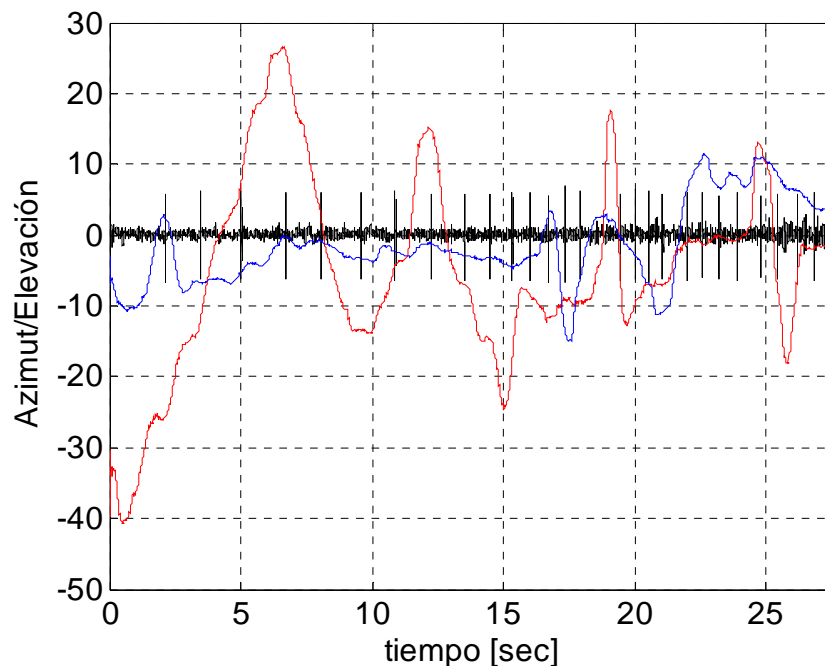


Figura 4: Patrón de movimiento de cabeza sincronizado con el patrón del sonido de ecolocación autoproducido (PMCS) para un objeto ubicado en una posición definida por: $\text{distancia}=150\text{ cm}$; $\text{azimut}=0^\circ$ y $\text{elevación}=0^\circ$.

En esta oportunidad el participante utilizó como señal de ecolocación un clics producido con la lengua (trazo negro). Se grafican también, el azimut (rojo) y la elevación instantánea del movimiento de la cabeza. Se observa al comienzo y hasta los 6 seg aproximadamente, un movimiento combinado de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba. A continuación, se ve, que la elevación se mantiene casi constante hasta los 15 seg, mientras que el azimut varía

entre valores positivos y negativos, esto es, de derecha a izquierda. A partir de este instante, retoma los movimientos combinados hasta los 21 seg aproximadamente y luego, abandona los movimientos horizontales (azimut constante) y explora en el sentido vertical hacia arriba. A partir de los 25 seg retoma los movimientos combinados hasta alcanzar, a juicio del participante, el centro del objeto. Se analizó la grabación de audio y se comprobó visualmente la reflexión en el objeto a partir del noveno click (13.5 seg aproximadamente). Se puede comprobar en la figura, que a partir de ese momento, el participante aumenta la frecuencia de repetición de los click.

4 RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) mediante el subsidio PIP N° 5753.

REFERENCIAS

- Arias, C., Curet, C.A., Ferreyra Moyano, H. F., Jockes, S., and Blanch, N., Echolocation: A study of auditory functioning in blind and sighted subjects. *Journal of visual impairment and blindness*, 87, 3:73-77, 1993a.
- Arias, C., L'Echolocation humaine chez les handicapés visuels. *L'Année Psychologique*, 96 (4):703-721, 1996.
- Arias, C., and Ramos O. A., Audición espacial en ambientes reverberantes: aspectos teóricos relevantes. *Revista Interamericana de Psicología / Internamerican Journal of Psychology*, 37 (2):371-380, 2003.
- Arias, C., Ramos, O.A, Ortiz Skarp, A., Hüg, M., Gutierrez, F., Novillo, D., Céspedes Daza, D., Heredia, G., Jasá, V., Luchino, F., Ecolocación Humana. *Las Ciencias del Comportamiento en los Albores del Siglo XXI*. J. Vivas (Ed). 99-104. Mar del Plata: Editorial Universidad Nacional de Mar del Plata, 2005.
- Arias, C., Ramos, O., Hüg, M., Ortiz Skarp, A., Bermejo, F., and Gómez. C., Movimientos de cabeza para localizar sonidos directos. *Memorias de las XIV Jornadas de Investigación. Tercer Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur*. Tomo II: 341-343. Facultad de Psicología, UBA. Buenos Aires, Argentina, 2007.
- Arias, C., Ramos, O.A., Ortiz Skarp, A.H., Hüg, M., Gómez, C., Bermejo, F, Tommasini, F., Esquinas, P., and Barrera, F., Movimientos de cabeza para localizar sonidos reflejados. *Avances en Investigación en Ciencias del Comportamiento en Argentina*. Compilado por Mirta Susana Ison y María Cristina Richaud. 1ª ed. Tomo II,: 903-920. Mendoza: Editorial Universidad del Aconcagua, 2007
- Arias C. Ecolocación Humana: el color del eco. *Actas FIA 2008*, 2008.
- 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. *Investigación en Ciencias del Comportamiento: avances Iberoamericanos*. Eds M.C. Richaud de Minzi y E. Moreno. Buenos Aires: Ediciones CIIPME-CONICET, . Tomo II: 547-582, 2009 b.
- Arias, C. Simposio: Ecolocación humana en el contexto de cambios paradigmáticos en Psicología. *Actas XII Reunión Nacional y I Encuentro Internacional de la Asociación Argentina de Ciencias del Comportamiento*. Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento: 29-33, 2009c.
- Bermejo, F., Gómez, C. and Arias C., Movimientos de cabeza en la localización de sonidos directos y reflejados en participantes entrenados y no entrenados. *Revista Tesis*. Editorial:

- Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. Volumen 1: 31 – 43, 2008.
- Bregman, A.S., Auditory scene analysis: Hearing in complex environments. *Thinking in sounds: The cognitive psychology of human audition* In S. McAdams, E. Bigand (Eds.): 10-36. New York, USA: Oxford University, 1992.
- Grantham, W. D., Spatial hearing and related phenomena. B. C. J. Moore (Ed), *Hearing*, San Diego, CA, USA: Academic Press, 1995.
- Hüg, M. X., Arias, C., Estudios sobre localización auditiva en etapas tempranas del desarrollo infantil. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 41 (2):225-242, 2009.
- Kellogg, W.N., Sonar system of the blind. *Science*, 137:399-404, 1962.
- Litovsky, R.Y., Colburn, H.S., Yost, W.A., Guzman, S.J., The precedence effect. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106 (4): 1633-1654, 1999.
- Litovsky, R. Y., Shinn-Cunningham, B. G., Investigation of the relationship among three common measures of precedence: fusion, localization dominance, and discrimination suppression. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 1:346-358, 2001.
- Masterton, R. B., Role of the central auditory system hearing: the new direction. *TINS*, 15, 8: 280-284, 1992.
- McAdams. Recognition of sound sources and events. *Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition*. Eds. S. Mc Adams and E. Bigand. Oxford University Press:146-198, 1992.
- Perrott, D. R., Ambarsoon, H., Tucker, J., 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, 1987.
- Perrott, D.R., Saberi, K, Brown, K., Strybel, T. Z. Auditory psychomotor coordination and visual search performance. *Perceptions and Psychophysics*, 48:214-226, 1990.
- Ramos, O. A., Arias, C., Ortiz Skarp, A. O., Frassoni, C., Echoes in the dark. *17º Internacional Congress of Acoustics*, ICA. Rome, Italy, 2001.
- Schenkman, B. Human echolocation: the detection of objects by the blind. *Doctoral Dissertation Acta Universitatis Upsaliensis*. Uppsala, 1985.
- Stoffregen, T.A, Pittenger, J.B. Human echolocation as a basic form of perception and action. *Ecological Psychology*, 7, 3:181-216, 1995.
- Thurlow, W.R., Mangels J.W., Runge P.S. Head movements during sound localization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 42, 2:489-493, 1967a.
- Yost, W. Auditory image perception and analysis: The basis for hearing. *Hearing Research*, 55:8-18, 1991.