

XIII Jornadas de Investigación y Segundo Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur. Facultad de Psicología - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2006.

# **Localización de sonidos directos y reflejados en infantes: aplicación de la técnica de Estimación del Mínimo Ángulo Audible (MAA).**

Hüg, Mercedes Ximena, Ramos, Oscar, Ortiz Skarp, Aldo y Arias, Claudia.

Cita:

Hüg, Mercedes Ximena, Ramos, Oscar, Ortiz Skarp, Aldo y Arias, Claudia (2006). *Localización de sonidos directos y reflejados en infantes: aplicación de la técnica de Estimación del Mínimo Ángulo Audible (MAA). XIII Jornadas de Investigación y Segundo Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur. Facultad de Psicología - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.*

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/000-039/221>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/e4go/kmp>

*Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.*

# LOCALIZACIÓN DE SONIDOS DIRECTOS Y REFLEJADOS EN INFANTES: APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ESTIMACIÓN DEL MÍNIMO ÁNGULO AUDIBLE (MAA)

Hüg, Mercedes Ximena; Ramos, Oscar; Ortiz Skarp, Aldo; Arias, Claudia  
CINTRA, FRC, UTN - Unidad Asociada del CONICET. PID SECYT. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina

## RESUMEN

El propósito general de nuestra línea de investigación consiste en avanzar en la comprensión del proceso de ecolocación humana y sus mecanismos subyacentes en pos de sentar las bases teórico prácticas de un programa de entrenamiento destinado a la persona ciega (Arias y Ramos, 2004). Este área temática está estrechamente vinculada con la localización de sonidos reflejados. La ecolocación se define como la habilidad para localizar, reconocer e identificar objetos silentes 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 (Stoffregen y otro, 1995; Arias y otros, 2004). El efecto precedente es uno de los fenómenos de audición espacial que estaría involucrado en la ecolocación a distancias cercanas. Las investigaciones sobre el desarrollo evolutivo del efecto precedente son muy recientes. El objetivo del trabajo que se presenta es caracterizar el rendimiento de infantes de 6 meses con visión y audición normales en una prueba de localización de sonidos directos y reflejados con la técnica de estimación del mínimo ángulo audible. Los principales resultados sugieren que los infantes fueron capaces de extraer información direccional de los sonidos reflejados, aunque esta condición les resultó más difícil.

## Palabras clave

Localización Auditiva Infantes

## ABSTRACT

DIRECT AND REFLECTED SOUND LOCALIZATION IN INFANTS: APPLICATION OF MINIMUM AUDIBLE ANGLE TECHNIQUE (MAA)

The general goal of our long-term project is to study the human echolocation ability in order to lay down the theoretical and practical basis of a training program to safely train the echolocation ability of the visually handicapped person (Arias y Ramos, 2004). This topic is closely linked with the study of sound reflected localization processes. Echolocation is defined as the ability to localize, recognize and identify silent objects by processing acoustic information contained in the relations established between selfgenerated sounds and echoes produced on the surrounding objects (Stoffregen y otro, 1995; Arias y otros, 2004). The precedence effect -that is, a spatial auditory fusion phenomenon- seemed to be involved in short distance echolocation modality. Developmental studies on precedence effect are very recent. In this paper, we describe the performance of 6 months old sighted and normal listener infants in a direct and reflected sound localization tasks with the minimum audible angle (MAA) technique. In line with previous researches, our preliminary results seemed to indicate that infants could extract directional information of reflected sound, although this condition was more difficult than the direct one.

## Key words

Infant Auditory Localization

## INTRODUCCIÓN

La capacidad para localizar con exactitud la fuente de un sonido está presente en todas las especies que poseen sistema auditivo y es de importancia capital tanto para los animales como para los humanos. No obstante, los aspectos evolutivos implicados en el desarrollo de esta habilidad han comenzado a estudiarse sistemáticamente y bajo condiciones controladas recién en los últimos veinte años.

Este trabajo se inscribe dentro de la línea de investigación en ecolocación humana, área temática estrechamente vinculada con la localización de sonidos reflejados. Los trabajos de investigación sobre ecolocación humana son escasos y discontinuos aunque muy recientemente se ha observado un creciente y renovado interés por el tema desde diferentes enfoques disciplinares (Arias y Hüg, 2003). Se define a la ecolocación como la habilidad para localizar, reconocer e identificar objetos silentes 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 (Stoffregen y otro, 1995; Arias y Ramos, 2004). Estos últimos conforman la señal reflejada y los primeros constituyen la señal directa u original. El proceso completo implica tres fases probablemente apoyadas sobre mecanismos psicoacústicos y neurofisiológicos diferentes: detección, localización y reconocimiento e identificación del objeto (Arias y Ramos, 1997, 1998; Arias y otros, 2005). En la modalidad de ecolocación a distancias cercanas uno de los fenómenos de fusión auditiva supuestamente involucrados es el efecto precedente (Arias y Ramos, 2001).

El objetivo que perseguimos en el presente trabajo consiste en caracterizar el rendimiento de infantes de 6 meses de edad, con visión y audición normales, en una prueba de localización de sonidos directos y reflejados con la técnica de estimación del MAA (minimum audible angle). A continuación se presenta una síntesis de los principales antecedentes que orientaron la investigación y luego detallamos la prueba auditiva realizada.

## Audición espacial y localización sonora

La audición espacial es el área temática que estudia la manera como un organismo usa la información auditiva para inferir ciertas propiedades sobre el entorno cercano: de qué evento sonoro se trata, de dónde proviene el sonido, a qué distancia y en qué dirección se encuentra la fuente que lo origina, etc. (Clifton, 1992).

Se define la localización sonora como la percepción de la posición de la fuente sonora en el plano horizontal (azimut), en el vertical (elevación) y la percepción de la distancia relativa entre sujeto y fuente (Blauert, 1997). Los principales indicios binaurales que intervienen en este proceso son: la diferencia de tiempo con que un sonido llega a ambos oídos -ITD (interaural time difference)- la diferencia interaural en la intensidad total del sonido -ILD (interaural level difference)- y el efecto de filtraje causado por la interacción del sonido con los pliegues del pabellón de la oreja, cabeza, torso y hombros. El principal indicio monoaural son las características espectrales de la señal sonora en cada oído (Blauert, 1997).

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

El efecto precedente es una estrategia utilizada de manera inconsciente por el individuo para enfrentar y resolver la información sonora conflictiva o competencia perceptual que se produce entre el sonido original y sus múltiples reflexiones en ambientes 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 (Litovsky y cols., 1999). La persona escucha sólo un sonido que ubica según la dirección del sonido que le llegó primero, el líder. Como se mencionó anteriormente, el efecto precedente es uno de los fenómenos de fusión auditiva supuestamente implicados a ecolocación a distancias cercanas. Este fenómeno estaría involucrado en la situación en la que el obstáculo está ubicado fuera del plano medio sagital, o sea que el sujeto recibe información sonora diferente para cada oído (Arias y Ramos, 2001). El sonido que llega más tarde se llama retardado y se corresponden con la señal directa y la señal reflejada, respectivamente, del paradigma de ecolocación.

### **Antecedentes en el estudio evolutivo de la localización de sonidos reflejados**

Muir y Field en el año 1979 fueron los primeros en demostrar de manera experimental que, bajo ciertas condiciones, los recién nacidos ubican sonidos directos provenientes de fuentes ubicadas a 90° en el plano horizontal. Posteriormente, varios autores analizaron la respuesta de neonatos a estímulos configurados bajo condición de precedencia con resultados negativos.

En 1989, Muir, Clifton y Clarkson realizaron un estudio longitudinal en infantes de 0 a 7 meses de edad. Observaron que la primera respuesta hacia este tipo de estimulación ocurre a los 4 meses de edad.

Litovsky (1997) analizó los cambios evolutivos del efecto precedente con la técnica de estimación del MAA (minimum audible angle) que permite estimar el cambio más pequeño en la posición de la fuente sonora que puede ser discriminado en forma confiable. Se le presentó a niños y adultos una serie de estímulos sonoros provenientes desde el frente que cambiaban su posición hacia a la izquierda o la derecha. Si el sujeto giraba su cabeza hacia el hemicampo correcto se activaba un reforzador visual. La separación angular entre los altavoces se iba modificando teniendo en cuenta el rendimiento del sujeto (método adaptivo de obtención del umbral): si cometía errores se disminuía el nivel de dificultad del ensayo siguiente y si acertaba, el nivel de dificultad se incrementaba. La autora evaluó los umbrales alcanzados por infantes de 18 meses, niños de 5 años y adultos en tres condiciones experimentales: 1) una sola fuente (sin efecto precedente); 2) dos fuentes - discriminación del sonido líder; 3) dos fuentes - discriminación del sonido retardado.

Se encontró que el MAA para una sola fuente a los 18 meses es mayor al obtenido en los niños de 5 años, que alcanzan umbrales similares al de los adultos. En general, en las tres condiciones experimentales los infantes de 18 meses tuvieron un rendimiento significativamente más bajo que los niños de 5 años. Bajo condición de discriminación del sonido retardado las diferencias en función de la edad entre niños y adultos se hicieron aún más profundas.

En un estudio reciente realizado por Arias y Ramos (2001) se replicó la experiencia de Litovsky en adultos con visión normal y ciegos y niños de 5 años de edad con visión normal. En los niños se observó un patrón de rendimiento similar al del estudio original, aunque los umbrales fueron un poco más altos. Los autores atribuyen este resultado a probables limitaciones metodológicas.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que la habilidad para discriminar la posición de la señal líder en presencia de la retardada mejora notablemente con la edad y que la respuesta a este fenómeno perceptual cambia a los 6 meses,

los 5 años y la adultez (Morrongiello, Clifton y Kulig, 1982, Litovsky y cols., 1999). Se supone que estos cambios podrían deberse a la maduración de las estructuras corticales auditivas que parecen estar involucradas en el efecto precedente (Clifton y cols., 1981; Litovsky y cols., 1997).

### **Nuestra experiencia: prueba de localización de sonidos directos y reflejados con la técnica de estimación del MAA**

La prueba de localización de sonidos directos y reflejados se basó en el trabajo de Litovsky (1997) y Arias y Ramos (2001).

**Participantes.** Trabajamos con 3 infantes de 6 meses de edad con audición y visión normales. Los padres firmaron un consentimiento informado y recibieron retribución monetaria por su participación en la experiencia.

**Arreglo experimental.** La prueba fue realizada en la sala silete del CINTRA especialmente diseñada para la administración de pruebas psicoacústicas. Para construir y administrar los estímulos sonoros se utilizaron las herramientas desarrolladas por el equipo: Sistema para Posicionamiento de Altavoces (SPA) y ECOTEST<sup>pro</sup> (Ramos y Arias, 1997; Arias y Ramos, 2001, 2005). EL SPA es un sistema manual diseñado para estudiar la localización sonora en campo libre que está compuesto por tres altavoces, uno fijo ubicado en el centro y dos móviles ubicados a su izquierda y a su derecha. Permite desplazar con ángulos iguales los dos altavoces móviles en tandem y en direcciones opuestas (un altavoz se desplaza desde la derecha al centro mientras que el otro lo hace desde la izquierda al centro o viceversa desde el centro hacia derecha/izquierda). Una cortina acústicamente transparente impide al sujeto ver el SPA durante la prueba.

**Estímulo sonoro.** Se utilizaron los mismos estímulos sonoros que los utilizados en el estudio de referencia: bursts de ruido de 25 ms presentados con una relación señal ruido mejor a 20 dB en tres condiciones experimentales: una sola fuente, discriminación del líder o discriminación de la retardada.

Cada ensayo consistía en 15 bursts de ruido presentados a razón de 2/s. En la condición de una sola fuente los primeros 4 bursts de ruido fueron presentados desde la línea media seguidos por 11 bursts de ruido presentados al azar desde el parlante de la derecha o de la izquierda. Los ensayos de discriminación del líder y de la retardada también comenzaban con 4 burst de ruido de una sola fuente desde la línea media. En los 11 bursts de ruido que seguían había 2 muestras de ruido por burst, con el comienzo de una muestra retardada en 5 ms en relación al comienzo de la otra. En la condición de discriminación del líder, la fuente líder provenía de la derecha o de la izquierda y la fuente retardada provenía de la línea media; en la discriminación de la retardada ocurría lo opuesto: fuente retardada de la izquierda o derecha y fuente líder desde el medio. Cada infante fue asignado al azar a una de las tres condiciones experimentales.

**Procedimiento y administración de la prueba.** Los infantes permanecieron sentados durante la prueba en la falda de uno de sus padres. Al comienzo de cada ensayo el experimentador llamaba la atención del niño de modo de alinear la posición de la cabeza con el altavoz central. Una cámara web fue ubicada convenientemente de manera de observar la respuesta del niño. Detrás de la cortina se ubicaron dos experimentadores con tareas específicas: uno administraba los estímulos y llamaba la atención del infante y el otro administraba el reforzamiento luego de las respuestas correctas y cambiaba de posición a los altavoces. El reforzador consistió en una caja de acrílico oscura que contenía un juguete con movimiento y sonido musical atractivo para los infantes. Se ubicaron dos reforzadores idénticos a 60° a la izquierda y derecha del infante. Si el niño giraba su cabeza hacia el hemicampo correcto se activaba el reforzador del lado correcto durante 5 segundos. Si no respondía correctamente se permanecía en silencio por 5 segundos.

Ambos experimentadores observaban el comportamiento del infante durante la sesión y acordaban si su respuesta era correcta o no, tanto para administrar el reforzamiento como para establecer el valor angular del próximo ensayo. Este último valor se determinó según un método adaptivo. Con 2 respuestas correctas (RC) consecutivas, el próximo ensayo era más difícil, y con una respuesta incorrecta (RI) el nivel de dificultad del ensayo siguiente disminuía. Adicionalmente, para incrementar la exactitud de la estimación se aplicaron las siguientes reglas:

- Después de 2 RI o 2 no respuestas (NR) consecutivas, se movían los altavoces a la posición más fácil, que era la inicial, y se repetía el ensayo hasta obtener una RC, después de la cual se reanudaba la prueba en la posición del ángulo del último fracaso. Estos ensayos no fueron considerados para estimar el MAA.

- Después de 1 NR se repetía el estímulo en la misma posición hasta que el infante respondía. Para la estimación del MAA se consideraba sólo esta última respuesta.

La prueba concluía cuando se producían 7 inversiones (una inversión se produce cuando se incrementa el ángulo después de un decremento o viceversa) o antes, en caso de que el niño se fatigara o perdiera interés. El ángulo inicial fue fijado en 55° y el MAA se estimó promediando las últimas 3 ó 4 inversiones, dependiendo de la duración de la prueba.

### Resultados y conclusiones preliminares

Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que los infantes completaron entre 18 a 23 ensayos cada uno (20 ensayos en promedio). El MAA obtenido para la condición única fue de 16.9°, para la líder fue de 25.2° y para la retardada fue de 47.9°.

Estos resultados están en similar dirección de otros estudios antecedentes. Ashmead, Clifton y Perris en 1987 midieron el MAA para una sola fuente sonora (condición única en nuestro estudio) en infantes de 6 a 7 meses de edad, encontrando que a esa edad los infantes discriminan desplazamientos mayores a 19°. En otro estudio similar realizado por Morrongiello (1988) se evaluaron a niños de 6 a 18 meses, encontrando que el valor del MAA para una sola fuente a los 6 meses es de 12°. Respecto a los estímulos configurados bajo efecto precedente, los estudios previos realizados con infantes de edades similares a las evaluadas en el presente trabajo indican que la primera respuesta confiable hacia este tipo de estimulación ocurre entre los 4 a 6 meses de edad (Clifton, Morrongiello y Dowd, 1984; Muir, Clifton y Clarkson, 1989). Resulta oportuno señalar que en estos trabajos los altoparlantes estaban fijos (ubicados a 90° a la izquierda y derecha del infante). El antecedente más cercano es el estudio de Litovsky (1997) que obtuvo para los 18 meses un MAA de 23° para la condición de discriminación del sonido líder y de 65° para condición retardada.

Estamos administrando la prueba a una muestra mayor de infantes de distintas edades, lo que nos permitirá profundizar el análisis de nuestros resultados y analizar cambios en el rendimiento en función de la edad.

Como se mencionó anteriormente, los antecedentes indican que la habilidad para discriminar la posición de la señal líder en presencia de la retardada mejora notablemente con la edad. Varios autores señalan que la ausencia de respuesta en recién nacidos y los cambios en el rendimiento en función de la edad podrían deberse a la maduración de la corteza auditiva que ocurre durante los primeros meses (Clifton y cols., 1981; Litovsky y cols., 1997. Según estudios realizados con animales, la capacidad para localizar sonidos bajo efecto precedente requiere de procesamiento cortical de la estimulación sonora (Cranford y Oberholtzer, 1976).

En síntesis, se observó en los infantes evaluados que fue más fácil localizar sonidos directos que reflejados. Para los estímulos configurados bajo efecto precedente el umbral obtenido en la condición de discriminación del sonido retardado resultó

más alto que el MAA obtenido para la condición de discriminación del sonido líder.

---

### BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, C.; HÜG, M. (2003) Investigaciones sobre el uso de sonidos auto producidos en Humanos. II Congreso Argentino de Acústica del Nuevo Milenio y II Jornadas de Acústica Electroacústica y Áreas Vinculadas. AADA y la CADAE, Buenos Aires.
- ARIAS, C.; RAMOS, O. (2004) Ecolocación humana desde una perspectiva ecológica y cognitiva. Memorias XI Jornadas de Investigación. Psicología, sociedad y cultura, págs 328-330. Facultad de Psicología, UBA
- ARIAS, C.; RAMOS, O. (2001) Ecolocación humana a distancias cercanas: posibles mecanismos psicoacústicos subyacentes. 28 Congreso Interamericano de Psicología. SIP. Santiago de Chile.
- ARIAS, C.; RAMOS, O. (1998) Ecolocación humana: una síntesis de aspectos relevantes. Discapacidad Visual Hoy. Aportes sobre la Visión diferenciada, 4, 6, 21-28.
- ARIAS, C.; RAMOS, O. (1997) Psychoacoustic test for the study of the human echolocation ability. *Applied acoustics*, 51(4), 399-419.
- ARIAS, C.; RAMOS, O.; ORTIZ SHARP, A.; HÜG, M. X. (2005) La ecolocación humana como sistema natural de sustitución sensorial (segunda parte). *Periódico mensual El Cisne*, año XV, nro. 174, 18 - 19.
- BLAUERT, J. (1997) *Spatial Hearing: the psychophysics of human sound localization*. Revised edition. The MIT Press., Massachusetts.
- CLIFTON, R. (1992) The development of spatial hearing in human infants. In L. A. Werner and E. W. Rubel (Eds.), *Developmental psychoacoustics*. Washington, D.C.: American Psychological Association, 135-157.
- CLIFTON, R.; MORRONGIELLO, B.; DOWD, J. (1984) A developmental look at an auditory illusion: the precedence effect. *Developmental Psychobiology*, 17, 5, 519-36.
- CLIFTON, R.; MORRONGIELLO, B.; KULIG, J.; DOWD, J. (1981) Newborns' orientation toward sound: possible implications for cortical development. *Child Development*, 52, 3, 833-838.
- CRANFORD, J.; OBERHOLTZER, M. (1976) Role of neocortex in binaural hearing in the cat. II. The 'precedence effect' in sound localization. *Brain Research*, 30, 111(2), 225-39.
- LITOVSKY, R. (1997) Developmental changes in the precedence effect: estimates of minimum audible angle. *J. of the Acoustical Society of America*, 102, 3, 1739-1745.
- LITOVSKY, R.; COLBURN, H.; YOST, W.; GUZMAN, S. (1999) The precedence effect. *J. of the Acoustical Society of America*, 106, 4 (Pt. 1), 1633-1654.
- MORRONGIELLO, B.; CLIFTON, R.; KULIG, J. (1982) Newborn cardiac and behavioral orienting responses to sound under varying precedence effect conditions. *Infant behavior and development*, 5, 249-259.
- MUIR, D.; FIELD, J. (1979) Newborn infants orient to sounds. *Child Development*, 50, 431-436.
- MUIR, D.; CLIFTON, R.; CLARKSON, M. (1989) The development of a Human Auditory Localization Response: A U-Shaped Function. *Canadian Journal of Psychology*, 43 (2), 199-216.
- RAMOS, O.; ARIAS, C. (1997) Human echolocation: the ECOTEST System. *Applied Acoustics*, 51, 4, 439-445.
- STOFFREGEN, T.A.; PITTENGER, J.B. (1995). Human echolocation as a basic form of perception and action. *Ecological Psychology*, 7, 3, 181-216.