



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

FIA2008-A088

## **Ecolocación Humana: el color del eco**

Claudia Arias <sup>(a, b)</sup>

(a) Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional – Unidad Asociada del CONICET. M. M. López esq. Cruz Roja Argentina s/n, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina. E-mail: [carias@scdt.frc.utn.edu.ar](mailto:carias@scdt.frc.utn.edu.ar)

(b) Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba. Enrique Barros esq. Enfermera Gordillo, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina.

### **Abstract**

We are involved in an interdisciplinary research program on *Human Echolocation* -an important example of perception-action capability that is crucial for the blind person. It is defined as the ability to use self generated sounds (i.e., direct signal) with the specific purpose of obtaining spatial information from environment. By processing the information contained in the direct-reflected coupling, it is possible to localize and recognize unseeing objects via audition. In this paper, we present a theoretical framework that we have elaborated to link three perceptual phenomena: human echolocation, precedence effect and repetition pitch, through theoretical and experimental work from several and recent disciplinary fields as auditory cognition, ecological psychoacoustics, neurosciences and aural architecture.

### **Resumen**

El programa de investigación interdisciplinaria sobre *Ecolocación Humana* que estamos llevando a cabo en el CINTRA, UTN - UA CONICET, apunta a promover el desarrollo de capacidades perceptuales inexploradas. La ecolocación -habilidad que resulta crucial para la persona ciega- constituye un excelente ejemplo de acción-percepción, que implica autoproducir sonidos (i.e., señal directa) con el propósito específico de obtener información espacial del entorno. A partir del procesamiento de la información contenida en la cupla directa-reflejada, es posible localizar y reconocer auditivamente objetos que no se ven. En esta ponencia exponemos un marco conceptual -elaborado con la finalidad de vincular tres fenómenos perceptuales: la ecolocación, el efecto precedente y la altura tonal de la repetición- en el cual se integran conocimientos teóricos y empíricos desde diferentes y recientes campos disciplinares como cognición auditiva, psicoacústica ecológica, neurociencias y arquitectura aural.

## 1 Introducción

Determinar características de la fuente sonora a partir de los sonidos que ella produce, es una habilidad crucial que utilizamos regularmente, aunque ha recibido poca atención por parte de los científicos. Debido a las características peculiares del sonido, el individuo puede localizar, reconocer e identificar la fuente que lo produce. Esta temática y similares son abordadas desde los enfoques cognitivo y ecológico de la percepción de muy reciente desarrollo, que estudian el funcionamiento auditivo de las personas en la vida diaria.

El estudio de la audición, por otra parte, tanto desde la perspectiva tradicional como desde los nuevos paradigmas, está referido a la percepción de sonidos directos que no están bajo control del sujeto. Sin embargo, es frecuente y cotidiano que se autoproductan sonidos con el propósito específico de obtener información, por ejemplo, cuando el médico percute la espalda del paciente con fines diagnósticos. Sus dos características fundamentales son que la persona los controla y manipula y que el sonido autogenerado llega a los oídos dos veces: directamente de la fuente (el golpeteo de los dedos sobre la espalda) y nuevamente cuando se refleja en las superficies del entorno.

Además, 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.

Un ejemplo contundente que vincula naturalmente los conceptos mencionados, lo brinda el murciélago y su extraordinaria habilidad para navegar y alimentarse sin claves visuales, vía la ecolocación.

En relación a los humanos, recientemente se ha argumentado que usarían la ecolocación regularmente sin ser concientes de ello. Este objeto de estudio está estrechamente vinculado con la localización de sonidos reflejados y se inscribe en el área tan escasamente estudiada como promisoria de los procesos percepto-cognitivos de la audición cotidiana, que implica la utilización de sonidos autoproductos para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven (Arias, 2007; Arias y Ramos, 2004). Prácticamente no hay investigación sistemática sobre el uso de sonidos autogenerados en humanos, con cuánta exactitud sustentan la percepción y guían la acción o cuál es el patrón que lleva la información relevante (Stoffregen y Pittenger, 1995).

Esta habilidad resulta crucial para el logro de la movilidad independiente de la persona ciega, uno de los aspectos más afectado por la ceguera. Mucho esfuerzo se realiza en la construcción de ayudas electrónicas para superar esta severa desventaja, aunque los resultados aún distan de ser óptimos. Otra dirección, que es la que sustenta la labor investigativa de la línea de investigación en *Ecolocación Humana* del CINTRA, apunta propiamente al desarrollo de habilidades perceptuales genuinas e inexploradas de los restantes sentidos. Precisamente el propósito general de la línea que lleva poco más de veinticinco 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 teórico prácticas de un programa de entrenamiento para personas ciegas.

Se han descriptos dos modalidades complementarias de ecolocación humana: a larga y corta distancia. En esta última, la señal directa o autoproducta -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. 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. Es probable que dos fenómenos de fusión auditiva estudiados en participantes con visión normal estén involucrados en esta modalidad: la altura tonal de la repetición y el efecto precedente.

Con la asistencia de tres sistemas, dos computarizados y uno manual, enteramente diseñados y contruidos por el equipo, hemos llevado a cabo una serie de pruebas especialmente diseñadas para analizar la ecolocación a distancias cercanas y su relación con los dos fenómenos de fusión auditiva mencionados. También comparamos funciones auditivas periféricas y centrales de personas ciegas con buena habilidad de ecolocación y personas con visión normal y comenzamos 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.

Actualmente estamos estudiando tres temas de candente actualidad: localización sonora y altura tonal de la repetición en infantes ciegos y con visión normal y sus implicaciones en el desarrollo de la habilidad de ecolocación (Hüg, Scabuzzo, Bermejo, Barrera, Ortiz Skarp, Ramos y Arias, 2008); movimientos de cabeza en localización sonora y en ecolocación (Arias, Ramos, Ortiz Skarp, Hüg, Gómez, Bermejo, Tommasini, Esquinas y Barrera, 2007) y ecolocación humana a la luz de la teoría del acoplamiento sensoriomotor y de los avances realizados en el campo de la sustitución sensorial (Arias, Bermejo, Scabuzzo y Hüg, 2007).

El anhelo que guía nuestra labor científica, es el de contribuir a la comprensión de esta habilidad -verdadero desafío y oportunidad para el estudio ecológico y cognitivo de la audición- tanto como al logro de la movilidad independiente de la persona ciega, en pos de promover una manera más justa de integración en la sociedad. En esta dirección, se reafirma el convencimiento de que el aprendizaje de habilidades propias del ser humano, subordinando siempre el uso de la tecnología a tal fin, es el camino más prometedor y el que más garantías ofrece.

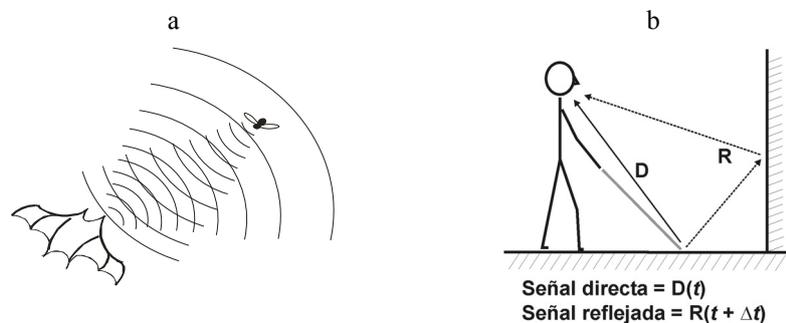
El objetivo del presente artículo consiste en presentar el marco conceptual que elaboramos con la finalidad de vincular tres fenómenos perceptuales: la ecolocación, el efecto precedente y la altura tonal de la repetición. Para contextualizar el tema, en los próximos dos apartados describimos aspectos teóricos relevantes de los fenómenos mencionados; en el cuarto apartado exponemos el marco conceptual integrando conocimientos teóricos y empíricos generados desde diferentes y recientes campos disciplinares y en el último, sintetizamos los puntos más destacados.

## **2 Ecolocación desde una perspectiva cognitiva y ecológica**

Según los nuevos enfoques de la investigación auditiva, el grado con 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 a partir de los sonidos que ellas generan.

En la ecolocación, se obtiene información del sistema sujeto-ambiente, a partir de un estímulo relacional llamado pulso-eco/reflexión (Figura 1). El pulso (señal directa, por ejemplo un click producido con la lengua) es el frente de onda generado por el perceptor, que llega directamente a sus oídos desde la fuente. El eco/reflexión 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 generado por el sujeto (señal directa) se propaga en el ambiente, es estructurada por éste cuando se refleja en la superficie del objeto (señal reflejada), para luego retornar al sujeto. La información relevante se encuentra en las relaciones entre los patrones de energía de salida y los patrones de energía que regresan. Stofreggen y Pittenger (1995) definen variables conocidas y variables de orden superior desconocidas en la bibliografía tradicional (por ejemplo, el tau acústico), que pueden subyacer en esta habilidad. Demuestran teóricamente que el sujeto puede extraer información de distancia, forma, tamaño, material y movimiento del objeto, a partir de la información contenida en determinadas dimensiones relacionales de la cupla directa-reflejada. Argumentan que la ecolocación y el tacto activo o percepción háptica, 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. El sujeto modula la acción para controlar la percepción, a la inversa de lo que ocurre con otros sistemas perceptuales típicos de lazo abierto (la salida depende de la entrada), en los que la percepción es la que controla la acción.



**Figura 1:** a) ecolocación animal, b) ecolocación humana

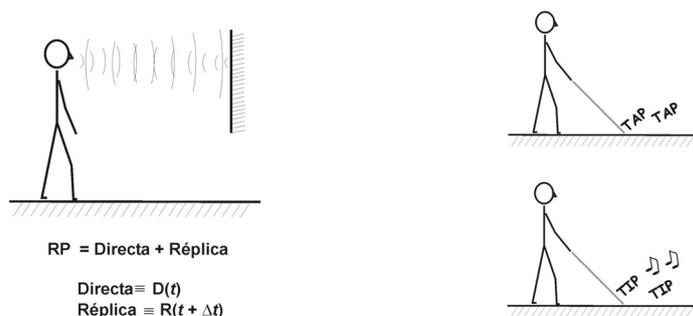
El proceso completo de percibir auditivamente un objeto involucra una primera e indispensable fase de detección del objeto (se percibe que hay "algo" en el trayecto), una fase de localización (se percibe dónde está y la distancia relativa aproximada) y una fase de discriminación de sus características físicas (tamaño, forma, material) que permite reconocer e identificar el objeto (se conoce qué es ese "algo" detectado y localizado). Aunque poco se sabe al respecto, es posible suponer distintos mecanismos psicoacústicos y neurofisiológicos en las tres fases señaladas: un procesamiento subcortical inconsciente, parece estar involucrado en las primeras dos, mientras que la última sólo puede lograrse a partir del procesamiento cortical consciente de la información.

Se han descrito dos modalidades básicas y complementarias de ecolocación apoyadas sobre mecanismos psicoacústicos diferentes. La *ecolocación a distancias lejanas*, entre 2 ó 3 m y 5 m entre sujeto y objeto, está involucrada en la fase de detección y localización del objeto. La información sobre la existencia del objeto está dada por la presencia del eco, mientras que su posición y distancia relativa se extraen de las claves témporoespaciales contenidas en el mismo. La *ecolocación a distancias cercanas* -menos de 2 ó 3 m- está involucrada en las fases de detección, localización, discriminación, reconocimiento e identificación de objetos. 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 también para proteger su integridad física. La señal directa y la reflejada no se perciben separadas y es posible que dos fenómenos de fusión auditiva estudiados en personas con visión normal estén involucrados: la altura tonal de la repetición y el efecto precedente.

### 3 Ecolocación y altura tonal de la repetición

Thurlow y Small (1955) fueron los primeros que describieron este fenómeno de percepción de altura tonal en personas con visión normal. Ha sido nombrado en la bibliografía con diferentes denominaciones. Bilsen y Ritsma (1969/70) lo llamaron altura tonal de la repetición (*repetition pitch*, RP) y lo describen como el fenómeno que se produce toda vez que se escucha un sonido al que se le ha sumado su réplica luego de un breve retardo de tiempo, lo cual se corresponde con la señal directa y reflejada respectivamente, en una situación ideal de ecolocación. Se basa en los mismos principios que el fenómeno de la altura tonal de la periodicidad o altura tonal del residuo o altura tonal virtual.

Welch (1964) sugirió que la "altura tonal Thurlow" podría explicar la modalidad de ecolocación a distancias cercanas. Bassett y Eastmond, en el mismo año, describieron el fenómeno de percepción de altura tonal, que se produce cuando una persona se aproxima a una superficie reflectora en presencia de ciertos sonidos, y lo relacionaron con la habilidad de percibir y sortear objetos que algunas personas ciegas poseen. Observaron que la interferencia entre la señal directa y la reflejada produce un patrón vibratorio resultante, en el que ciertas frecuencias se cancelan y otras se refuerzan (Figura 2).



**Figura 2:** Ecolocación y altura tonal de repetición

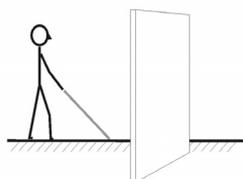
Este fenómeno perceptual de fusión estaría principalmente involucrado en la situación en la que un objeto está ubicado enfrente del sujeto a la altura de su rostro (diferencia binaural =  $0^\circ$ ). La presencia del mismo podría determinarse por la presencia/cambio de tonalidad (RP) de la señal directa (o sonido autogenerado). La información sobre posición, distancia y características del objeto se extraería de los indicios espectrales y espaciales contenidos en el patrón vibratorio resultante, i.e., en la cupla directa-reflejada.

### 4 Ecolocación y efecto precedente

El efecto precedente es una estrategia utilizada de manera inconsciente por el individuo, para enfrentar y resolver la información sonora conflictiva que se produce entre el sonido directo 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. La persona escucha sólo un sonido que ubica según la dirección del sonido que le llegó primero, llamado líder. El sonido que llega más tarde se llama retardado y ambos se corresponden con la señal directa y la señal reflejada, respectivamente, del paradigma de ecolocación (Figura 3).

Este mecanismo le ayudaría al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria, pues le atribuye un fuerte pesaje al sonido directo y reduce la influencia de la información direccional de los sonidos retardados. En otras palabras, el eco provoca un

conflicto, que generalmente se resuelve a favor de la información que llega primero. Sin embargo, hallazgos recientes sugieren que el sistema auditivo no elimina sino que, por el contrario, mantiene la información contenida en las reflexiones, aún cuando se produzca fusión y dominancia del líder. Ciertos cambios en la acústica del recinto -especialmente aquellos que no coinciden con las expectativas del sujeto (Clifton, Freyman, Litovsky y McCall, 1994)- liberan el mecanismo de supresión, con lo cual se hace posible extraer información del sonido retardado. Por ejemplo, Saberi y Perrott (1990) demostraron que con suficiente práctica, es posible “apagar” este mecanismo de supresión y extraer información contenida en los ecos.



Efecto precedente = Líder + Retardada

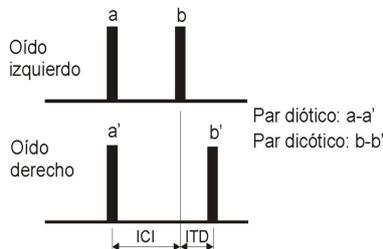
Líder  $\equiv D(t)$   
Retardada  $\equiv R(t + \Delta t)$

**Figura 3:** Ecolocación y efecto precedente

Tres perceptos están involucrados en este fenómeno: fusión, dominancia en la localización y supresión de discriminación del sonido retardado. El primer percepto se refiere a la fusión de los dos sonidos en una sola y coherente imagen auditiva, lo cual resulta útil para evitar imágenes sonoras múltiples. Es importante destacar que la presencia del sonido retardado se detecta claramente ya que sin su presencia, la imagen percibida cambia notablemente en sonoridad, altura tonal, espacialidad (“ensanchamiento” de la imagen auditiva) y timbre. El percepto de dominancia se refiere al procesamiento de la información direccional, esto es, dónde se localiza la imagen fusionada y cuánto la posición del sonido líder domina esta percepción. Aunque la información direccional contenida en el sonido retardado no es ignorada completamente, como ya se explicó, es la líder quien mayormente contribuye a determinar la posición percibida. El tercer percepto -que es el que está principalmente involucrado en la ecolocación y cuyas vinculaciones se discuten en el próximo apartado- se refiere a la habilidad del sujeto para procesar la información direccional contenida en el sonido retardado, lo cual implica extraer información de un sonido que no es audible, como evento separado (Litovsky, Colburn, Yost y Guzmán, 1999). Asimismo, los componentes dinámicos del efecto precedente -i.e., los mecanismos de incremento gradual en la supresión del eco” (*build up of echo suppression*) y “rompimiento de la precedencia o liberación de la supresión” (*breakdown of precedence phenomena o release from suppression*)- jugarían un rol fundamental en la habilidad de ecolocación cotidiana.

El efecto precedente operaría en las situaciones en las que el objeto está ubicado fuera del plano medio sagital, es decir, donde están disponible las claves binaurales de las diferencias interaurales de tiempo e intensidad, ITD e ILD, respectivamente (i.e., diferencia binaural  $\neq 0^\circ$ ). En la Figura 4 se muestra a manera de ejemplo, la configuración del estímulo de precedencia tipo II (Tollin y Henning, 1998), que se correspondería con la siguiente situación particular de ecolocación: el objeto está ubicado en el plano horizontal, desplazado del plano medio sagital (azimut  $\neq 0^\circ$ ) y la persona ciega genera un chasquido o click con la lengua. Este click llega a ambos oídos al mismo tiempo, debido a la posición de la boca (fuente primaria) con respecto a los oídos; éste es el par diótico a-a’ (idéntica información para ambos oídos) del estímulo tipo

II. Cuando el click se refleja en el objeto (fuente secundaria) se genera la señal reflejada del paradigma de ecolocación, que llegará a ambos oídos con una breve diferencia de tiempo; este par conforma el par dicótico b-b' (distinta información para cada oído), que es el que contiene información direccional que permitirá localizar el objeto.



**Figura 4:** Estímulo tipo II. Extraído de Tollin y Henning, 1998, pág. 3031

## 5 El color del eco

En este apartado exponemos el marco conceptual que hemos elaborado con la finalidad de vincular los tres fenómenos perceptuales tratados en esta ponencia: la ecolocación, el efecto precedente y la altura tonal de la repetición. Para ello hemos integrado algunos conocimientos teóricos y empíricos generados desde la pedagogía especial, la psicología acústica, la arquitectura aurial y la ecolocación animal.

Kish -el primer especialista certificado en Orientación y Movilidad totalmente ciego del mundo- es un ferviente y extremadamente eficiente usuario de la ecolocación -que es, según su juicio, simplemente un aspecto particular de la audición, que define como la habilidad para escuchar ecos. La considera una capacidad natural con la que cuentan animales y humanos para percibir el ambiente y la ha definido como una técnica que permite imaginar y “mapear” el espacio cercano con la ayuda del sonido (autoproducido), lográndose de esta manera, reemplazar la visión con la audición. Sostiene que estos dos sentidos son semejantes, en tanto procesan no sólo energía de ondas directas sino mayormente, la energía de ondas reflejadas que retornan al perceptor. Precisamente, ambos sistemas pueden extraer mucha y muy detallada información del entorno, a partir de la interpretación de los patrones complejos de energía reflejada que reciben. En el caso de la audición, la información relevante está contenida en la forma y el timbre (dimensión estrechamente ligada con la altura tonal) de las ondas sonoras que retornan (Kish y Bleier, 2000). Es uno de los principales expertos en ecolocación humana del mundo que ha estado y está involucrado en todo tipo de proyectos sobre la temática. Fundó la organización sin fines de lucro “World Access for the Blind” ([www.worldaccessfortheblind.org](http://www.worldaccessfortheblind.org)) y es actualmente su director ejecutivo.

Rakerd y Hartmann (1985) desarrollaron la hipótesis de plausibilidad para explicar el efecto precedente, que sostiene que la localización sonora es un proceso dinámico e interactivo que tiene entradas (inputs) en niveles cognitivos más altos. Clifton, Freyman, Litovsky y McCall (1994) y Clifton, Freyman y Meo (2002) extienden esta visión, incluyendo el supuesto de las expectativas que se forma el sujeto de la acústica del recinto: cambios probables como los que se experimentan en la vida diaria suprimen los ecos -i.e., se fusionan con la señal directa aunque influye sobre su cualidad tímbrica y posición aparente- mientras que cambios improbables rompen este mecanismo de supresión. El proceso de formación de estas expectativas se constituye rápida, automática e inconscientemente, escuchando la información que contienen los ecos sobre las propiedades acústicas del recinto (volumen de la habitación, posición y distancia de la superficie reflectora y las propiedades de absorción). Los cambios en el eco que se producen de acuerdo a lo que ocurre en la vida diaria mantienen

vigente el mecanismo supresor mientras que los cambios que violan las expectativas, rompen el mecanismo y la persona puede escuchar el eco como evento separado. En otras palabras, consideran que el efecto precedente -a diferencia de los postulados que sostienen que es un mecanismo estático de supresión de ecos- es un proceso de toma de decisiones que está continuamente influido por la estimulación auditiva que está ocurriendo en el recinto. Esta postura enfatiza el rol de la experiencia para modular la percepción del sujeto y acuerda con los principios generales de las teorías de cognición auditiva, por ejemplo: análisis de escenas auditivas de Bregman y reconocimientos de fuentes y eventos sonoros de McAdams.

Una mención especial -por el área disciplinar de la que proviene, la así llamada arquitectura aural- merece un libro que acaba de publicarse bajo el sugestivo título “Los espacios hablan ¿estás escuchando?” (*Spaces Speak, are you listening?*, Blesser y Salter, 2007). Los autores sostienen que los espacios son experimentados no sólo a través de la visión sino también escuchándolos. Cada espacio tiene su propia arquitectura aural y accidental o intencionalmente, el ser humano funciona como un arquitecto aural. Escuchas atentos pueden aprender a “ver” objetos con sus oídos y aún sin entrenamiento, es sencillo “escuchar” la geometría espacial de las puertas abiertas o de los techos bajos. Mencionan ejemplos cotidianos que ilustran los nuevos conceptos: poder desplazarse por una habitación familiar en la oscuridad; “escuchar” el vacío de una casa sin muebles; las claras diferencias entre escuchar un concierto en vivo desde las filas delanteras o desde los palcos; las características acústicas únicas de los espacios religiosos que les confieren significado simbólico. Resulta muy oportuno mencionar que ya en 1969, Rice describió que los sujetos ciegos tempranos que participaron en sus estudios, parecían usar una especie de lo que llamó “vistazo auditivo”: emitían uno o dos clicks con la lengua obteniendo información exacta sobre presencia y ubicación de los objetos.

El concepto de color del eco -que integra el efecto precedente y la altura tonal de la repetición- sirve para concluir este apartado. Como ya se ha mencionado, las reflexiones, aunque no puedan escucharse como eventos separados, afectan notoriamente otras cualidades perceptuales del sonido compuesto, tales como sonoridad, espacialidad y timbre. En particular, una reflexión puede agregarle altura tonal o coloración al sonido original, i.e., altura tonal de la repetición, RP. (Bilsen y Ritsma, 1969/70).

Krumbholtz, Maresh, Tomlinson, Patterson, Seither-Preisler y Lütkenhöner (2004), estudiaron el mecanismo que determina la fuerza de la RP asociada con una única reflexión de un sonido de banda ancha como un ruido (recordar que este estímulo presentado sin la reflexión no se le puede atribuir altura tonal alguna). Midieron en 5 sujetos que usaban auriculares, la fuerza de ese percepto en función de: a) información monoaural: retardo ( $\tau$ ) entre directa y reflejada y b) información binaural: ITDs e ILDs. Los resultados mostraron que la fuerza de la RP estaba asociada a la representación interna de la información monoaural en cada oído y que el sistema auditivo combina la información de altura tonal mediante un proceso de promediación central.

Neuweiler (1990), por su parte, sostuvo que de la misma manera que la luz (blanca) del sol se refleja en los objetos con diferentes patrones espectrales, creando sensaciones de color, la señal de ecolocación de banda ancha (blanca) del murciélago se refleja con diferentes patrones espectrales según la textura de las superficies reflejantes. Es decir que la naturaleza de estas superficies está codificada en el color del eco y el sistema auditivo del murciélago puede analizar este parámetro del eco para discriminar y aún para identificar su presa u otros objetos. Escuchar leves cambios en el color del eco puede ser una forma altamente sensible para detectar presas en ambientes ruidosos a causa del follaje de árboles y arbustos. En su opinión la investigación sobre el color del eco será la más gratificante y echará luz sobre la

ecolocación. El delfín y el murciélago son los únicos mamíferos no humanos que crean una representación interna del mundo externo, basándose en la audición. Los resultados de la investigación auditiva en ecolocación sugieren que el murciélago no ha implementado nuevas formas de análisis auditivo no disponibles para mamíferos que no ecolocan, más bien ha refinado y especializado aquellas que ya existen. Sugirió que podría percibir ecos complejos como Gestalt auditivas, o sea que este animal aprende patrones espectrales y compara las señales que escucha con las aprendidas en busca de similitudes. En audición humana hay amplia evidencia de que determinados espectros complejos percibidos como Gestalts auditivas, juegan un papel fundamental en el reconocimiento del lenguaje y la audición musical.

## **6 Consideraciones finales**

Del cuerpo de conocimientos científicos y empíricos generados, se puede inferir que ambos fenómenos son complementarios a los efectos de la ecolocación: en las condiciones donde es más difícil extraer información de la señal retardada, mayor es la fuerza (saliencia) de la altura tonal de la repetición (entre 2 y 5 ms de retardo entre directa y reflejada). Además, ambos mecanismos en conjunto estarían disponibles en un determinado rango de condiciones y el sujeto que ecoloca en la vida real, habría desarrollado estrategias para optimizar la información relevante.

Sirva una breve mención de los valiosos y encomiables trabajos desarrollados por las propias personas ciegas -verdadero ejemplo de desarrollo de capacidades genuinas- como cierre ilustrativo de lo aquí expuesto.

En Estados Unidos, Kish, ciego desde el año de edad, en su calidad de doble experto en el área de la ecolocación humana -usuario altamente eficiente y especialista en Orientación y Movilidad- ha creado el primer programa sistemático y comprensivo para el entrenamiento avanzado en ecolocación destinado a la persona ciega, el "FlashSonar". Uno de sus ejes aborda la temática de la producción de señales de ecolocación por parte del propio sujeto, las que deben cumplir tres requisitos: a) control del usuario sobre el tipo de señal y direccionalidad, b) buena alineación entre la señal y los oídos, c) mínimo enmascaramiento del eco y buena familiaridad con la señal. Considera que los chasquidos con la lengua son señales ideales, ya que no sólo cumplen con esos requisitos, sino que el sujeto puede controlar fácilmente su nivel y sonoridad. El programa enseña a generar y usar cinco tipos de chasquidos con características acústicas diferenciales que sirven para distintos requerimientos de ecolocación. Con un entrenamiento avanzado en ecolocación y otras técnicas, la persona ciega logra realizar tareas tan complejas como manejar una bicicleta de montaña (dispositivo sonoro en las ruedas), patinar o realizar travesías solitarias en ambientes desolados.

En Argentina, Los Murciélagos -el equipo de fútbol para ciegos más conocido en el mundo- se formó a fines de 1991. La Selección se clasificó: dos veces campeón y dos, subcampeón mundial; medalla de plata en los Juegos Paralímpicos; dos veces campeón, dos veces subcampeón y un tercer lugar en Copas América. Los equipos están integrados por cinco jugadores cada uno: los cuatro jugadores de campo son personas ciegas y el arquero tiene visión normal. Los partidos se juegan en dos tiempos, en una cancha al aire libre con paredes laterales y piso de cemento o mosaico para cumplir requerimientos acústicos. La pelota tiene seis cápsulas sonoras con bolitas de rulemanes en su interior, que se colocan simétricamente entre el cuero y la cámara. El arquero, el técnico y un guía visual -ubicados detrás del arco rival- orientan a los jugadores; el juego es dirigido por dos árbitros. Rodríguez, usuario de ecolocación muy eficiente y jugador cordobés de la Selección, ha fundado el equipo local de fútbol para ciegos en esta ciudad. Realiza una prolífica labor pedagógica, que

muy bien completa la tarea desarrollada en instituciones tiflológicas públicas y privadas del medio, que trabajan en pos del logro del desempeño eficiente e independiente de la persona ciega.

### Referencias bibliográficas

- Arias, C. (2007). "Investigaciones argentinas en Ecolocación Humana". Simp. Plasticidad cerebral en déficit sensoriales y trasplante. Revista Argentina Neuropsicología, Núm. Especial X Congreso Latinoamericano de Neuropsicología, ISSN: 1668-5415, Vol. 10, pág. 15.
- Arias, C.; Ramos, O.A. (2004). "Ecolocación humana desde una perspectiva ecológica y cognitiva". Memorias de las XI Jornadas de Investigación. ISSN 1667-6750. Tomo III, Págs. 328-330.
- Arias, C.; Bermejo, F.; Scabuzzo F.; Hüg, X. (2007). "Escuchando figuras geométricas invisibles". Revista Argentina de Neuropsicología, Número Especial del X Congreso Latinoamericano de Neuropsicología, Resúmenes: Trabajos libres. ISSN: 1668-5415, Vol 10, pág. 34-35.
- Arias, C.; Ramos, O.A.; Ortiz Skarp, A.H.; Hüg, M.; Gómez, C.; Bermejo, F.; Tommasini, F.; Esquinas, P; Barrera, F. (2007). "Movimientos de cabeza para localizar sonidos reflejados". En Avances en Investigación en Ciencias del Comportamiento en Argentina. Comp. M. Ison y M. C. Richaud. Tomo II, p: 903-920. Mendoza: Ed. Univ. Aconcagua. ISBN: 978-987-23232-5-7.
- Bassett, I.G; Eastmond, E.J. (1964). "Echolocation: measurement of pitch versus distance for sounds reflected from a flat surface". Journal of the Acoustical Society of America, 36, 5, 911-916.
- Bilsen, F.A.; Ritsma, R.J. (1969/70). "Repetition pitch and its implications for hearing theory". Acustica, 22, 63-73.
- Blesser, B.; Salter, L.R. (2007). « Spaces speak, are you listening? Experiencing Aural Architecture». The MIT Press, Cambridge, MA.
- Clifton, R. K.; Freyman, R. L.; Litovsky, R.Y.; McCall, D. (1994). "Listener's expectations about echoes can raise or lower echo threshold". J. of the Acous. Society America, 95, 3, 1525-1533.
- Clifton, R. K.; Freyman, R. L.; Meo, J. (2002). "What the precedence effect tells us about room acoustics". Perception and Psychophysics, 64, 2, 180-188.
- Hüg, M.; Scabuzzo F.; Bermejo, F.; Barrera, F.; Ortiz Skarp, A.; Ramos, O.; Arias, C. (2008) "Umbral de localización de sonidos bajo condición de precedencia en infantes". Memorias de las XV Jor. Investig. 4to Encuentro Invest. en Psic. Mercosur. ISSN 1667-6750.
- Kish, D.; Bleier, H. (2000). "Echolocation: What it is, and how it can be taught and learned". Adaptado de la tesis de maestría del primer autor.
- Krumbholz, K.; Maresh, K.; Tomlinson, J.; Patterson, R.D.; Seither-Preisler, A.; Lütkenhöner, B. (2004). "Mechanisms determining the salience of coloration in echoed sound: Influence of interaural time and level differences". J. Acoustical Society of America, 115(4), 1696-1704.
- Litovsky, R.Y.; Colburn, H.S.; Yost, W.A.; Guzman, S.J. (1999). "The precedence effect". Journal of the Acoustical Society of America, 106, 4, pp. 1633-1654.
- Neuweiler, G. (1990). "Auditory adaptations for prey capture in echolocating bats". Physiological Reviews, 70, 3, 615-641.
- Rackerd, B.; Hartmann, W.M. (1985). "Localization of sound in rooms, II: The effects of a single reflecting surface". Journal of the Acoustical Society of America, 78, 2, 524-533.
- Saberi, K.; Perrott, D.R. (1990). "Lateralization thresholds obtained under conditions in which the precedence effect is assumed to operate". J. Acoustical Society of America, 87, 4, 1732-1737.
- Stoffregen, T.A; Pittenger, J.B. (1995). "Human echolocation as a basic form of perception and action". Ecological Psychology, 7, 3, 181-216.
- Turlow, W.R.; Small Jr.A.M. (1955) "Pitch perception for certain periodic auditory stimuli". Journal of the Acoustical Society of America, 27, 132-137.
- Tollin, D.J.; Henning, G.B. (1998). "Same aspects of the lateralization of echoed sound in man. I. The classical interaural-delay based precedence effect". J. Acoustical Soc. America, 104, 5, 3030-3038.
- Welch, J.R. (1964). "A psychoacoustic study of factors affecting human echolocation". American Foundation of the Blind. Research Bulletin, 4, 1-13.