

ECOLOCACIÓN HUMANA: REVISIÓN HISTÓRICA DE UN FENÓMENO PARTICULAR - PRIMERA PARTE*

HUMAN ECHOLOCATION: AN EXTENSIVE REVIEW OF THE LITERATURE - FIRST PART

CLAUDIA **ARIAS**^{**}, MERCEDES XIMENA **HÜG**^{***}, FERNANDO **BERMEJO**^{****},
NICOLÁS **VENTURELLI**^{*****} Y DIANA **RABINOVICH**^{*****}

*Este trabajo forma parte del proyecto *Movimientos de cabeza en la localización de sonidos y en la ecolocación humana* (PIP N° 5753) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

**Doctora en Psicología. Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Docente de grado y posgrado de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

E-Mail: carias@scdt.frc.utn.edu.ar; carias@psyche.unc.edu.ar

***Licenciada y Doctoranda en Psicología. Docente de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

****Licenciado y Doctorando en Psicología. Becario Interno de Posgrado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Docente de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

*****Licenciado y Doctorando en Filosofía. Becario Doctoral de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). Docente de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

*****Licenciada y Doctoranda en Filosofía. Docente adscripta de la Facultad de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

La primera autora dedica este artículo y agradece a Ken Stuckey, ex-Bibliotecario de la *Perkins School for the Blind*, los valiosos artículos sobre ecolocación humana que él envió sin cargo y que resultaron imprescindibles y de una incuestionable utilidad en la génesis de esta línea de investigación y del presente artículo.

Los autores agradecen a los referencistas anónimos los valiosos comentarios realizados sobre las primeras versiones del manuscrito.

RESUMEN

La *ecolocación humana* es una habilidad genuina, inexplorada y vinculada con la localización de sonidos reflejados, que resulta crucial en la movilidad independiente de la persona ciega. Se inscribe en el área poco estudiada de la audición cotidiana de sonidos no verbales e implica autoproducir sonidos para obtener información (reflexiones) a fin de localizar y reconocer objetos que no se ven. Se presenta una revisión histórica de estudios realizados sobre la temática, que refleja cambios paradigmáticos del devenir científico. Las conceptualizaciones históricas de

la ecolocación resultan ejemplificadoras: al comienzo se la consideraba como un fenómeno paranormal mientras que en la actualidad, se la trata como una habilidad utilizada inconscientemente por la mayoría de las personas.

En esta primera parte se exponen aspectos teóricos relevantes y los estudios realizados en dos de los tres períodos en que se ha dividido esta revisión histórica. El tercer período se presenta en la segunda parte de este artículo.

Palabras clave: Ecolocación humana; Visión facial; Altura tonal de la repetición; Efecto precedente.

ABSTRACT

Echolocation is a genuinely human though greatly unexploited ability that is closely related to the localization of reflected sounds. It is part of the scarcely studied and promising field of the percept-cognitive processes involved in everyday audition of non-verbal sounds. It implies self-producing sounds (original or direct signal) with the specific purpose of obtaining auditory information (reflected signal) to detect, locate and recognize unseen objects. This ability turns out to be crucial to the blind person's independent mobility, an aspect that is severely affected by blindness.

We present an historical revision of the main studies that have been carried out on this particular phenomenon, describing the paradigm changes that occurred in scientific history. The historical conceptualizations of echolocation are specially revealing: while it was initially considered a paranormal phenomenon, a kind of sixth sense, now it is treated as an ability that could be unconsciously used by most of us. In this first part of this paper we present relevant theoretical aspects and the studies carried out during two of the three periods this historical revision has been divided in: (a) First approaches (1700 - 1935) and (b) Scientific study of human echolocation (decades from 40s to 80s). The third period, named *recent studies*, is developed in the second part of this article.

The questions that were initially asked were concerned the explanation of which of the sense organs was involved and which sensory stimulation was the necessary and sufficient condition for this ability. Some researchers and many blind persons were inclined to look for the answer in the sense of touch, from stimuli such as differences in pressure, air currents or differences in temperature upon the skin of the face; this originated the name of *facial vision* with which echolocation is also known.

During the 40s a vast and rigorous research program was put forward in order to elucidate the sensory basis of echolocation. Experimental subjects (blind and blindfolded sighted participants) that took part of the program had to walk through a corridor and halt at the moment they perceived the presence of an obstacle (mobile panel); then they kept on walking approaching the obstacle as near as possible without making contact (first perception and final appraisal, respectively). A series

of ingenious tests was designed in which tactile or auditory input was artificially suppressed, one at a time. None of the subjects was able to perceive the object in the case of auditory input suppression. To confirm this finding, other tests were conducted in extreme conditions: for example, the subject was in another room using a telephone communication device and he / she had to perform the same task but this time it was the experimenter that walked across the corridor instead of him / her. The performance was not significantly affected in this extreme condition. In this way, it was unequivocally established that audition is the sensory basis of this particular kind of ability and that changes in pitch are its necessary and sufficient condition.

Later studies inquired into the discriminatory power of echolocation and its scopes. It was demonstrated that, on the one hand, blind subjects and appropriately trained blindfolded sighted subjects were able to accurately judge the position, distance, size, material and shape of the objects. On the other hand, for the first time, research about the spontaneous generation of sounds by blind persons was carried out. It was observed that they used clicks or vocalizations to detect presence / absence of the object and continuous sibilant sounds to perceive its borders. Their performance was not significantly affected when they used artificial sounds that mimicked their own or sound signals that they had described as *not preferred*. Around the end of the second period the underlying psychoacoustic mechanisms were studied and two auditory fusion phenomena were postulated: *repetition pitch* and the *precedence effect*.

Key words: Human echolocation; Facial vision; Repetition pitch; Precedence effect.

INTRODUCCIÓN

"Si se considera a la historia como algo más que un depósito de anécdotas o cronología, puede producir una transformación decisiva de la imagen que tenemos actualmente de la ciencia." (Kuhn, 2006, p. 1).

La historia de la ciencia muestra cómo se genera y acumula el conocimiento, pero

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

también pone en evidencia tendencias que sesgan la interpretación de los fenómenos bajo estudio. En las ciencias acústicas se han acumulado sesgos desde 1638 cuando Galileo descubrió la Física de los tonos puros y cuando, más adelante, Ohm demostró que un tono complejo puede analizarse según los tonos puros que lo componen. Estos descubrimientos fueron básicos para comprender la transducción mecánica neural realizada por la cóclea. Sin embargo, como ya lo notara Helmholtz, la cóclea hace mucho más que analizar y codificar los sonidos, realiza un (cuasi) análisis de Fourier tan rápido y confiable, que un escucha casual no tiene dificultad para diferenciar una gran variedad de sonidos naturales transitorios muy semejantes entre sí, por ejemplo, un chirrido de un chasquido. Estos sonidos reales son a menudo tan breves, tenues y únicos en su cualidad que no se ha diseñado aún un instrumento electrónico capaz de detectarlos, analizarlos, discriminarlos e identificarlos, tal como lo hace habitualmente el sistema auditivo (Masterton, 1992). El proceso completo es el resultado de una compleja interrelación de aspectos físicos, fisiológicos, sensoriales y cognitivos, involucrados en un escucha interactuando con el ambiente (Neuhoff, 2004). La mayor parte de lo que se conoce sobre audición se relaciona con el procesamiento periférico, y este conocimiento se ha generado a partir de estudios llevados a cabo en condiciones artificiales y con sonidos muy diferentes a los encontrados en la vida real.

Por su parte, los nuevos enfoques en ciencias acústicas consideran 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: por ejemplo, reconocer el tamaño de un perro (fuente sonora directa) sólo por sus ladridos (sonidos directos) (Bregman, 1992; McAdams, 1992; Yost, 1991). Se trata de una habilidad crucial utilizada regularmente que ha recibido escasa atención científica y que resulta absolutamente notable, si sólo se toma en cuenta la Física del sonido y la forma de operar del

sistema auditivo periférico. Es decir que, 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 para explotar esa valiosa propiedad del sonido- extrae información de las dimensiones físicas de la fuente tales como posición, distancia, naturaleza. De esta manera, el centro de interés en las ciencias acústicas se ha desplazado desde los aspectos psicoacústicos de los fenómenos auditivos, a los aspectos cognitivos y ecológicos de la audición -esto es, las habilidades del sujeto para funcionar acústicamente en la vida diaria (Masterton, 1992). Además, el estudio de la audición, tanto desde el enfoque tradicional como desde los nuevos abordajes ecológicos, 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, y 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. 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 desde la fuente (el pie o tracto vocal, por ejemplo) y nuevamente cuando se refleja en las superficies del entorno.

Un ejemplo contundente del uso de sonidos autoproducidos lo brinda el murciélago y su extraordinaria habilidad para procesar ecos, esto es, *ecolocación*. Es oportuno mencionar que el objeto que genera la reflexión o el eco (por ejemplo, una pared, una polilla) es tratado como fuente sonora secundaria, con lo cual se considera que la ecolocación constituye una variación particular del proceso general de determinación de la fuente sonora directa. En este caso, la información acerca del sistema animal-ambiente se obtiene de un estímulo relacional único, la dupla directa-reflejada. La energía del estímulo

generada por el individuo (señal directa) se propaga en el ambiente, es estructurada por éste, para luego retornar al receptor (señal reflejada). La información relevante se encuentra en las relaciones que existen entre los patrones de energía de salida y los patrones de energía que regresan (Stoffregen & Pittenger, 1995).

En relación a la ecolocación humana se ha argumentado recientemente que los humanos la usarían regularmente sin ser conscientes de ello. Esta habilidad resulta crucial para el logro de la movilidad independiente de la persona ciega, uno de los aspectos más afectados por la ceguera. Precisamente el convencimiento que ha guiado y guía la labor de esta línea de investigación, es que el desarrollo de las propias capacidades inexploradas, subordinando siempre el uso de la tecnología a tal fin, es el camino más prometedor y el que más garantías ofrece (Arias, 2009; Arias et al., 2005).

El objetivo del trabajo que se informa es presentar (en dos partes) una revisión histórica de los principales estudios realizados sobre este fenómeno particular que ha adquirido una renovada fertilidad científica a la luz de los nuevos enfoques teóricos de la cognición corporizada y de recientes avances en el campo de las neurociencias. En esta primera parte se exponen aspectos teóricos relevantes y los principales estudios realizados desde que comenzó a mencionarse esta habilidad en la bibliografía científica hasta la pasada década de 1980 (1700 - 1989).

ECOLOCACIÓN HUMANA: PRINCIPALES ASPECTOS TEÓRICOS

La ecolocación es una habilidad genuinamente humana e inexplorada, que está estrechamente vinculada con la localización de sonidos reflejados y se inscribe en el área escasamente estudiada aunque ciertamente promisoriosa de los procesos percepto-cognitivos de la audición cotidiana. Implica autoproducir sonidos con el propósito específico de obtener información ecoica para detectar, localizar y reconocer objetos que no se ven.

Se han descrito dos modalidades complementarias de ecolocación: a larga (entre 2 m ó 3 m y 5 m) y corta distancia (menos de 2 m ó 3 m). 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. Es la modalidad 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 eventualmente presentes en su camino.

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 (Arias, 1989a, 1989b, 1996; Schenkman, 1985). El primero se produce cuando se escucha un sonido, al que se le ha sumado su réplica luego de un breve retardo de tiempo (señal directa y reflejada respectivamente, en una situación ideal de ecolocación). Estaría claramente involucrado en la situación en la que un objeto está ubicado enfrente del sujeto a la altura de su rostro. La presencia del mismo podría determinarse por la presencia / cambio de tonalidad de la señal autogenerada. Las características del objeto se extraerían de los indicios espectrales y espaciales contenidos en el estímulo fusionado (Arias & Ramos, 1997; Bassett & Eastmond, 1964; Bilsen & Ritsma, 1969/70). El efecto precedente ocurre cuando dos sonidos similares se presentan desde diferentes lugares separados por un breve retardo de tiempo. La persona escucha sólo uno y lo 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 reflejada, respectivamente, del paradigma de ecolocación. Este fenómeno de fusión estaría involucrado en la situación en la que el objeto está ubicado fuera del plano medio sagital. El efecto precedente es una estrategia in-

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

consciente que utiliza el individuo para resolver la información sonora conflictiva que se produce en los ambientes cerrados, donde se producen múltiples reflexiones cuando el sonido directo se refleja en paredes, techo y piso. Tradicionalmente se lo ha descrito como un *mecanismo supresor de ecos*, que le ayudaría al individuo a localizar con precisión la fuente sonora primaria, que es la que tiene mayor relevancia ecológica (Arias & Ramos, 2003; Blauert, 1997). Sin embargo, hallazgos recientes sugieren que el sistema auditivo no elimina sino que, por el contrario, mantiene la información contenida en las reflexiones, aun cuando se produzca fusión y dominancia del líder. Ciertos cambios en el ambiente acústico -especialmente aquellos que no coinciden con las expectativas del sujeto (Clifton, Freyman, Litovsky & McCall, 1994; Clifton, Freyman & Meo, 2002)- liberan el mecanismo de supresión, con lo cual se hace posible extraer información espacial 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; Freyman, McCall y Clifton (1998) informaron además, una buena sensibilidad de los sujetos para percibir varios aspectos no direccionales del sonido retardado como intensidad y contenido espectral, entre otros.

REVISIÓN HISTÓRICA

El sentido de los obstáculos de las personas ciegas (esto es, la asombrosa habilidad que tienen para detectar la presencia de un obstáculo, juzgar su distancia relativa y evitarlo) ha sido objeto de especulaciones e interés científico a lo largo del tiempo. ¿Cómo lograban estas *hazañas*?, ¿cuál era el sentido involucrado?, ¿qué o cuáles estímulos sensoriales eran su condición necesaria y suficiente?, fueron las principales preguntas formuladas inicialmente. Resulta oportuno aclarar que algunas personas ciegas, desde diferentes épocas y lugares geográficos, afirmaban y afirman sentir la presencia del

obstáculo a partir de una cierta sensación táctil en el rostro, específicamente en la frente, mejillas y sienes. Describen esta sensación (que originó la designación de *visión facial* con que se nombra a la ecolocación) como similar a un ligero toque o presión, un velo fino arrojado sobre la cabeza, el contacto con una telaraña. De allí que, en los primeros tiempos, se pensó tanto en el tacto como en la audición como los posibles sentidos involucrados y en la presión atmosférica, corrientes de aire, diferencias de temperatura y sonidos, como la correspondiente estimulación sensorial.

El estudio bibliográfico en profundidad realizado en el marco de esta línea de investigación ha puesto en evidencia la escasez y discontinuidad de los trabajos científicos publicados. En la actualidad, sin embargo, se ha renovado y acrecentado el interés por este complejo e intrigante fenómeno perceptual desde diferentes campos disciplinares.

Se presenta seguidamente un recorrido histórico esquemático del avance del conocimiento en la temática, acompañando los estudios mencionados con una breve síntesis y reservándose una descripción más detallada para los trabajos más relevantes. Para ello, se definieron tres períodos, cada uno de los cuales comprende subperíodos: Primeros abordajes, Estudio científico de la ecolocación humana (en esta Primera Parte) y en la Segunda parte del artículo, se desarrollarán los estudios recientes.

Primeros abordajes (1700 - 1935)*PRIMERAS MENCIONES EN LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA*

Diderot fue el primero de la comunidad científica en mencionar esta especial habilidad en su Carta sobre los Ciegos publicada en 1749 (traducida al español por Escobar en el año 2002). Consideraba que la persona ciega juzgaba la proximidad de objetos y personas por la acción del aire sobre la cara.

Levy (1872), el autor ciego de un libro clásico sobre la problemática de la ceguera, ex-

plicaba algunas de las *hazañas* que él realizaba detectando y evitando obstáculos, dada la gran sensibilidad que tenía la piel de su rostro para percibir sutiles estímulos de presión cutánea. Consideraba que era la única parte de su cuerpo que poseía esta habilidad, que desaparecía totalmente si se cubría el rostro con un velo grueso.

ESTUDIOS DE FINES DEL SIGLO XIX Y PRINCIPIOS DEL SIGLO XX

James (1890) y Dresslar (1893) se preguntaron acerca de cuáles eran los sentidos que estaban principalmente involucrados en esta habilidad. El primero consideraba que se percibía la presencia del obstáculo a través de las sensaciones de presión atmosférica sobre la membrana timpánica. Dresslar (1893) refutó esta teoría y estudió la capacidad que tenían tres sujetos con visión normal para distinguir sin ayuda de la visión, forma y material de objetos presentados de a pares. En algunos ensayos cubría cara y cuello de los mismos, con tela o cartón, dejando libre la entrada auditiva, mientras que en otros, les obstruía ambos oídos con algodón. Observó que en el primer caso prácticamente no se afectaba el rendimiento aunque se perdía esta habilidad en el segundo, por lo que concluyó que las claves sensoriales involucradas eran las diferencias sonoras que se generaban por la presencia / ausencia del obstáculo.

El investigador alemán Heller (1904, citado por Hayes, 1935) marcó el comienzo de la experimentación científica. Se preguntó si la persona ciega poseía realmente un *sentido de la distancia* y de qué manera determinaba la presencia de los obstáculos. Realizó un experimento con cuatro personas ciegas, que debían caminar dentro de una habitación y detenerse tan pronto percibieran la proximidad de un obstáculo. También eliminó artificialmente las sensaciones táctiles en algunos ensayos y en otros, las sensaciones auditivas. Concluyó que la persona ciega podía percibir auditivamente obstáculos ubicados hasta 3 m aproximadamente, mientras que

para distancias cercanas (≤ 80 cm, aproximadamente) podía serle útil una sensación táctil similar a la sensación de presión cutánea.

Lamarque (1929) fue el primero en interesarse por los cambios físicos producidos por el estímulo. Grabó el sonido de un diapasón en campo libre y ante la presencia de obstáculos ubicados a diferentes distancias. Observó que la amplitud del sonido se mantenía constante, aunque variaba la forma de onda en una y otra situación.

Otros investigadores consideraron que se trataba de un sexto sentido o que las personas ciegas poseían poderes extrasensoriales, por ejemplo, telestesia o visión paróptica (Romains, 1924).

Villey (1923) publicó los resultados de una encuesta que realizó a 63 soldados que quedaron ciegos en la guerra. Alrededor del 70% respondió que sí podía percibir obstáculos. Cerca del 25% de este grupo pensaba que lo hacían a través del oído, otro 25% consideraba que el tacto era el sentido involucrado y el 50% restante respondió que les ayudaba la combinación de ambos. Muy pocos soldados consideraron otras claves tales como las diferencias de temperatura o la acción de ondas magnéticas.

Dolanski (1930) realizó estudios bajo condiciones controladas. Construyó un aparato que permitía acercar en trayecto horizontal o vertical hacia los oídos o el rostro del sujeto (silenciosa y muy lentamente para no provocar corrientes de aire), discos de diversos materiales (acero, madera, cartón, vidrio y algodón) y tamaños. Concluyó que la audición era imprescindible, no así las sensaciones táctiles, y que la fatiga y la distracción afectaban sobremanera el rendimiento de los sujetos. Postuló que los indicios sonoros advierten acerca de la presencia del objeto y que se produce una contracción de pequeños músculos faciales, como acción refleja de autoconservación ante el peligro de colisión. Este reflejo se producía aun cuando la persona usaba una máscara. A él se debía que los sujetos juzgaran que el origen del sentido de los obstáculos era táctil, lo cual era erróneo, ya que cuando suprimía la en-

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

trada auditiva desaparecía la sensación en el rostro. También informó sobre respuestas de ilusiones auditivas de presencia de obstáculo inexistentes.

Hayes, en 1935, elaboró el primer y único estado de la cuestión (hasta la muy reciente actualización publicada *on-line*, Kish, 2003) sobre la habilidad de percibir obstáculos observada en las personas ciegas. Listó 14 teorías que agrupó en cuatro grandes categorías:

a.- Las que postulaban que el sentido de los obstáculos se debía a una respuesta realizada de los receptores sensoriales de alguna de las modalidades sensoriales (el postulado de W. James, por ejemplo, pertenece a esta categoría).

b.- Las que sostenían que se debía a la interpretación que realizaba el sujeto acerca de claves perceptuales de uno o más órganos de los sentidos (explicaciones de Heller).

c.- Las que postulaban que el fenómeno ocurría debido a respuestas condicionadas ante determinadas situaciones de alerta o peligro (el postulado de Dolanski, por ejemplo).

d.- Las que sostenían que se trataba de un fenómeno paranormal o sexto sentido (la hipótesis de Romain).

Mouchet (1938), de la Universidad de Buenos Aires, realizó experimentos evaluando personas ciegas y con visión normal. Concluyó que cambios muy sutiles en la estimulación auditiva jugaban un papel preponderante.

ESTUDIOS CIENTÍFICOS DE LA ECOLOCACIÓN HUMANA (1940 - 1980)

Personas ciegas y con visión normal ocluida participaron de las investigaciones controladas, llevadas a cabo en este segundo período que se lo ha dividido en dos subpe-

riódos. Es de destacar que la producción científica de esta línea de investigación, que comenzó en el segundo subperíodo, se ha sostenido y enriquecido ininterrumpidamente hasta la actualidad.

LAS DÉCADAS DE 1940 Y 1950

A partir de los rigurosos e ingeniosos estudios realizados por el grupo de Dallenbach y colaboradores de la Universidad de Cornell (uno de quienes, Supa, era ciego y muy hábil para percibir obstáculos) se dilucidaron importantes aspectos de la ecolocación.

También datan de esta época las primeras relaciones establecidas entre la ecolocación humana y animal. Es interesante mencionar que en la década de 1940 se publicaron los primeros trabajos sobre la sorprendente habilidad de los murciélagos para cazar y evitar obstáculos utilizando ecos, a la que se llamó *ecolocación* (Griffin & Galambos, 1941). Desde entonces se han realizado importantes avances en el área de la ecolocación animal (Griffin, 1988; Nachtigall & Moore, 1988), habilidad que poseen varias especies animales, además de los más estudiados: murciélagos y delfines (Au, 1993), por ejemplo, pájaros que viven en cavernas (Griffin, 1953) y pequeños mamíferos como la musaraña (Forsman & Malmquist, 1988).

El grupo de Cornell inquirió acerca de la base sensorial que sustenta el proceso de ecolocación. Para responder a la pregunta central diseñaron una serie de experimentos rigurosamente controlados. En el primer grupo de pruebas, sujetos ciegos y con visión normal ocluida debían caminar a lo largo de un corredor, detenerse ante la presencia de un obstáculo y luego continuar caminando hasta llegar lo más cerca posible del mismo sin contactarlo. Obtuvieron dos estimaciones de distancia entre sujeto y obstáculo, que denominaron *primera percepción y estimación final*, respectivamente. El rendimiento del sujeto fue la proporción entre ambas estimaciones.

El segundo grupo de pruebas consistió en la supresión artificial, de a una por vez, de

las posibles entradas sensoriales del tacto y del oído. Cuando eliminaron la entrada auditiva ningún sujeto pudo percibir el obstáculo, ni siquiera los que habían demostrado mayor eficiencia en las pruebas anteriores. Para confirmar estos hallazgos diseñaron un tercer grupo de pruebas en condición extrema: el sujeto, sentado en una habitación a prueba de ruidos y utilizando un sistema telefónico, escuchaba los pasos del experimentador, quien portando un micrófono caminaba por el pasillo experimental. El sujeto debía realizar idéntica tarea a la descripta aunque esta vez, guiándose sólo por los sonidos de los pasos del experimentador que le indicaban cuándo detenerse para no chocar con el obstáculo. Su rendimiento no se alteró significativamente bajo esta condición experimental.

Luego diseñaron otra serie de pruebas adicionales en las que el caminante fue reemplazado por un carro que, portando un micrófono y un parlante emitía señales sonoras y se movía silenciosamente por un riel. El sujeto controlaba y detenía el movimiento del carro a voluntad. Aún bajo estas condiciones los sujetos lograban detectar los blancos con precisión (Supa, Cotzin & Dallenbach, 1944). Estos investigadores completaron sus experimentos trabajando con sujetos sordociegos, quienes en ningún caso pudieron detectar obstáculos ni aprender a hacerlo en el transcurso de la experiencia (Ammons, Worchel & Dallenbach, 1953; Worchel & Dallenbach, 1947).

Las conclusiones del grupo de Cornell fueron contundentes: la audición es la base sensorial de la ecolocación, y el cambio en la altura tonal de los sonidos es su condición necesaria y suficiente (Cotzin & Dallenbach, 1950; Worchel, Mauney & Andrew, 1950).

DESDE 1960 A 1980

Una vez dilucidado el sentido principalmente involucrado en la ecolocación, surgieron preguntas sobre el poder de discriminación de esta habilidad. En los experimentos de detección de obstáculos, en general, el su-

jeto debía resolver una tarea de tipo Sí / No. En los de discriminación, debía realizar comparaciones de a pares y decidir cuál de dos obstáculos posibles estaba presente, o se exploraba, por ejemplo, cuál era el tamaño mínimo del blanco perceptible o cuál de dos blancos estaba más cerca o más lejos con respecto al participante o a otro blanco de referencia. En los experimentos de localización, por ejemplo, el experimentador ubicaba un blanco en alguna zona del plano horizontal, dentro de los 90° a la izquierda o a la derecha del sujeto. Su tarea consistía en emitir sonidos propios o generados electrónicamente, moviendo o no la cabeza hacia ambos lados, y en señalar el lugar donde juzgaba que estaba ubicado el blanco.

Los estudios de Kellogg (1962), Rice, Feinstein y Schusterman (1965), Rice (1967, 1969, 1970) y Köhler (1964) permitieron concluir, por una parte, que las personas ciegas y con visión normal ocluida emitían juicios precisos de distancia, tamaño, material y forma de objetos. Por la otra, que los participantes ciegos espontáneamente autogeneraban vocalizaciones, *clicks*, sonidos sibilantes. Usaban los *clicks* para detectar la presencia / ausencia de obstáculos y señales sibilantes continuas para percibir los bordes de los mismos. Además, la utilización de sonidos artificiales que imitaban a los preferidos por los sujetos no afectaban sus rendimientos. Más aún, también se desempeñaban eficientemente con señales no preferidas (Rice, 1967).

Merece una mención especial un trabajo realizado en Córdoba (Argentina) sobre percepción espacial en personas ciegas y con visión normal (Foschi & Blanco, 1968). Junto con la experiencia de Mouchet (1938) constituyen los dos únicos estudios previos encontrados a nivel nacional. Se llevaron a cabo dos pruebas: en la primera, el sujeto debía juzgar a través de la audición, características físicas (tamaño y forma) de recintos acústicamente diferentes (cámaras anecoica, semi-reverberante y de reverberación), los resultados indicaron superioridad de las personas ciegas en las situaciones más difíciles, esto es, en la cámara de reverberación. La

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

segunda prueba fue de detección de blancos en cámaras anecoica y de reverberación. En esta prueba, los participantes con visión normal lograron detectar la presencia de blancos sin mayores dificultades en ambientes anecoicos, aunque tuvieron grandes dificultades en ambientes reverberantes. En cambio, las personas ciegas en general, lograron rendimientos similares en ambos recintos, aunque obtuvieron más aciertos en el primero.

Se describen a continuación algunos detalles de estudios relevantes de este período.

En el experimento clásico de *ecolocalización* de Rice (1969), el sujeto permanecía sentado usando una especie de casco solidario a un eje vertical que sostenía su cabeza firmemente. El mismo aparato permitía suspender un blanco reflejante pequeño (alrededor de 15 cm de diámetro) a distintas distancias y posiciones azimutales del plano horizontal medio ($\pm 90^\circ$ izquierda / derecha, altura de los oídos). La tarea del sujeto consistía en emitir la señal sonora de su preferencia manteniendo fija la cabeza en 0° , cesar la emisión y mover la cabeza para apuntar con la nariz hacia donde él juzgaba que estaba ubicado el centro del blanco. Se incluyeron también ensayos de control con blanco ausente. Las rotaciones en valores angulares se registraban en la parte superior del aparato y constituían la variable dependiente. Los sujetos con ceguera temprana superaron significativamente el rendimiento de los sujetos con ceguera tardía y el de los sujetos con visión normal ocluida. Describió un hecho que llamaba la atención: parecía que las personas con ceguera temprana de un solo *vis-tazo auditivo* (*auditory glance*) (emitían uno o dos chasquidos con la lengua) obtenían información exacta sobre presencia y ubicación de los blancos. Rice consideró que este rendimiento superior se debía a que la persona ciega aprende a procesar más eficientemente la información sonora por efecto de la práctica intensiva a la que está expuesta diariamente.

Clarke, Pick y Wilson (1975) realizaron un extenso e importante trabajo donde eva-

luaron la habilidad para percibir obstáculos con y sin la ayuda de una *linterna sónica manual*, que diseñaron para mejorar los indicios naturales usados en la ecolocación. Se trataba de un gabinete acústico de dimensiones reducidas, con el parlante montado convenientemente para producir mayor direccionalidad de las señales sonoras utilizadas (*clicks* o ruido blanco) en el espectro requerido. Trataron de determinar si el entrenamiento en ecolocación utilizando la linterna mejoraba el rendimiento del sujeto cuando no la usaba. Llevaron a cabo experimentos en condición estática (sujeto y obstáculo fijos) y dinámica, a través de un curso de entrenamiento en ecolocación utilizando obstáculos familiares (por ejemplo, puertas y bordes de paredes) dispuestos en un recinto especial. Trabajaron con cuatro grupos: niños ciegos, adultos con ceguera de larga data, adultos con ceguera de corta data (de 1 a 3 años) y adultos con visión normal ocluida. Los dos primeros grupos mostraron un rendimiento superior al de los otros dos en detección de obstáculos en la condición estática. Con la ayuda de la linterna todos los sujetos realizaron más detecciones, con tendencia a la equiparación de los rendimientos entre los grupos. En el curso de entrenamiento, los niños y los adultos con visión normal ocluida fueron los que realizaron el mayor número de detecciones, aunque estos últimos completaban el trayecto en un tiempo mucho mayor. Los adultos con ceguera de corta data realizaron el menor número de detecciones. La utilización de la linterna sónica duplicó aproximadamente la cantidad y alcance de detecciones de obstáculos. Finalmente, se evidenció un efecto de aprendizaje durante las pruebas con y sin la linterna. Resulta oportuno aclarar que las personas ciegas, en general, no utilizan en su diario vivir ni ésta ni ninguna de las así llamadas *ayudas electrónicas del viajero* (ETA, por sus siglas en inglés) desarrolladas posteriormente. A pesar de las ventajas observadas a nivel teórico y experimental, estos dispositivos aún tienen desventajas importantes que desalientan su uso: ocupan una mano para portarla, demandan mucha carga aten-

Arias, Hüg, Bermejo, Venturelli y Rabinovich

cional del usuario y / o llaman la atención del resto de las personas (aun los dispositivos en miniatura montados en los anteojos).

Strelow y Brabyn (1982) llevaron a cabo un experimento para estudiar si la información ecoica podía ser útil para guiar la locomoción de la persona. Trabajaron con 8 personas ciegas, a quienes se les permitió utilizar sonidos y 14 con visión normal: 8 trabajaron con visión ocluida y las otras 6, utilizando su visión normalmente. La tarea consistía en caminar en línea recta manteniendo un curso paralelo a la pared o a una fila de postes delgados con una separación de 2 m unos de otros. Observaron que los sujetos ciegos eran más hábiles para caminar guiándose con sonidos, que los sujetos con visión normal ocluida, aunque la sola guía auditiva resultó notablemente inferior a la guía visual.

Schenkman (1985; Arias, 1989a) analizó, por una parte, el efecto de determinados factores físicos sobre el rendimiento de personas ciegas en ecolocación y por la otra, incurrió en los mecanismos psicoacústicos subyacentes: analizó físicamente las señales electrónicas que utilizó como estímulos sonoros y correlacionó los valores obtenidos con las respuestas de los sujetos en las pruebas. Diseñó una serie de pruebas experimentales para estudiar cuatro problemas fundamentales: el efecto de diferentes fuentes sonoras (golpeteos de varios tipos de bastón largo, vocalizaciones y señales artificiales), la detección y localización de obstáculos, el efecto de varios parámetros físicos (tamaño, distancia, distintas posiciones espaciales del blanco) y diversas posiciones de la fuente sonora directa. Sus principales conclusiones fueron las siguientes:

a.- Percibir obstáculos utilizando el sonido del golpeteo del bastón como única fuente sonora resultó una tarea difícil. Además, las características de los diferentes tipos de bastón estudiados no afectaron el rendimiento de los sujetos.

b.- Las propias vocalizaciones fueron las señales de ecolocación más eficaces. Sin embargo, para distancias mayores y con

obstáculos ubicados enfrente del sujeto a la altura del rostro y de la cintura, el golpeteo del bastón largo con regatón de acero mejoraba el rendimiento de los sujetos en las pruebas.

c.- En concordancia con los hallazgos de Rice, Feinstein y Schusterman (1965) y de Bilsen, Frietman y Willems (1980), Schenkman encontró que las señales impulsivas (*clicks*, por ejemplo) fueron más eficaces para detectar y localizar objetos, y las señales continuas, para discriminar sus características físicas.

d.- El incremento del número de *clicks* no afectó el rendimiento de los sujetos.

e.- La envolvente de Hilbert (cálculo de la potencia instantánea de las señales) podría simular el procesamiento de la información que realiza el sujeto para ecolocar a distancias mayores. La función de *autocorrelación* (que establece similitud entre señales) podría simular el procesamiento de la información en la ecolocación a distancias menores.

Arias de Miranda (1985) llevó a cabo en cámara anecoica un experimento clásico de detección (presencia / ausencia), localización (posición) y discriminación de características (forma, tamaño y material) de obstáculos. Se mantuvo constante la distancia entre el sujeto y el obstáculo (70 cm) y se varió una sola característica por vez. Seis sujetos ciegos con buena movilidad independiente participaron en esta experiencia. El sujeto recibía un breve entrenamiento previo para familiarizarse con la tarea y conocía de antemano cuál característica se variaría. Permanecía sentado y se le permitía girar su cabeza hacia ambos lados y emitir sonidos, si así lo deseaba. La tarea consistía en que debía decidir si había o no un obstáculo delante suyo y en caso afirmativo, debía indicar cuál blanco estaba presente. Los resultados obtenidos concordaron marcadamente con los informados en experimentos previos (Hausfeld, Power, Gorta & Harris,

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

1982; Kellogg, 1962; Köhler, 1964; Rice, 1969; Schenkman, 1985): fue más fácil detectar presencia / ausencia de los obstáculos que sus características, siendo el tamaño la más fácil y la forma, la más difícil. Los sonidos espontáneamente generados por los sujetos fueron señales de banda ancha de dos tipos: chasquidos con la lengua o con los dedos (*clicks*) y *siseos* y batido de palmas (ruido blanco). Interesa enfatizar que en ningún caso se observó una conducta errática en los participantes, por el contrario, emitían sonidos, realizaban movimientos de búsqueda (*scanning movements*) y escuchaban atentamente las modificaciones sonoras que ocurrían, para luego responder. Fue sorprendente observar que un participante (uno de los que obtuvieron más cantidad de aciertos en la discriminación de la forma de los blancos) realizaba movimientos con la cabeza similares a los descritos por Kellogg (1962): hacia la izquierda y derecha y, además, hacia arriba y hacia abajo. Parecía como si este *scanning vertical* le hubiera permitido percibir los bordes del blanco y descubrir así más fácilmente la forma del mismo.

Ashmead, Hill y Talort (1989) realizaron una experiencia muy valiosa para evaluar la habilidad para percibir obstáculos en niños ciegos congénitos de 4 hasta 12 años de edad. Concluyeron que los niños utilizaron información auditiva para percibir los objetos y que la habilidad perceptual que subyace en la ecolocación no requiere experiencia viso-espacial previa ni entrenamiento formal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ammons, C.H., Worchel, P. & Dallenbach, K.M. (1953). Facial vision: The perception of obstacles out of doors by blindfolded and blindfolded deafened subjects. *The American Journal of Psychology*, 66(4), 519-553.
- Arias de Miranda, C. (1985). *Resolución de problemas y percepción de obstáculos en sujetos ciegos y deficientes visuales* [Problem solving and obstacle perception by blind and visually impaired people]. Trabajo presentado en el VIII Congreso Panamericano de Ciegos, Mar del Plata, Argentina.
- Arias, C. (1989a). Comentarios bibliográficos: "Ecolocación humana: la detección de objetos por el ciego de Bo Schenkman (1985)" [Bibliographical reports: "Human echolocation: Detection of objects by the blind by Bo Schenkman (1985)"]. *Revista Latinoamericana de Acústica*, 1(2), 73-75.
- Arias, C. (1989b). Human echolocation: Studies of the obstacle perception processes in visually impaired people. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 83(9), 479-482.
- Arias, C. (1996). L'Echolocation humaine chez les handicapés visuels [Human echolocation by visually impaired people]. *L'Année Psychologique*, 96(4), 703-721.
- Arias, C. (2009). *Ecolocación humana y efecto precedente* [Human echolocation and the precedence effect]. Tesis Doctoral no publicada. Facultad de Psicología. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Arias, C. & Ramos, O.A. (1997). Psychoacoustics tests for the study of the human echolocation ability. *Applied Acoustics*, 51(4), 399-419.
- Arias, C. & Ramos, O.A. (2003). Audición espacial en ambientes reverberantes: Aspectos teóricos relevantes [Spatial audition in reverberant environments: Relevant theoretical aspects]. *Revista Interamericana de Psicología*, 37(2), 371-380.
- Arias, C., Ramos, O., Ortiz Skarp, A., Hüg, M., Gutiérrez, F., Novillo, D., Céspedes Daza, D., Heredia, G., Jasá, V. & Luchino, F. (2005). Ecolocación humana [Human echolocation]. En J. Vivas (Ed.), *Las ciencias del comportamiento en los albores del Siglo XXI* (pp. 99-104). Mar del Plata: Editorial Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Ashmead, D.H., Hill, E.W. & Talort, C.R. (1989). Obstacle perception by congenitally blind children. *Perception & Psychophysics*, 46(5), 425-433.

- Au, W.W.L. (1993). *The sonar of Dolphins*. New York: Springer-Verlag.
- 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.
- Bilsen, F.A., Frietman, E.E.E. & Willems, W. (1980). Electroacoustic obstacle simulator (EOS) for the training of blind persons. *International Journal of Rehabilitation Research*, 3(4), 527-564.
- Blauert, J. (1997). *Spatial hearing: The psychophysics of human sound localization* (ed. rev.). Cambridge: The MIT Press.
- Bregman, A.S. (1992). Auditory scene analysis: Hearing in complex environments. En S. McAdams & E. Bigand (Eds.), *Thinking in sounds: The cognitive psychology of human audition* (pp. 10-36). New York: Oxford University Press.
- Clarke, N.V., Pick, G.F. & Wilson, J.P. (1975). Obstacle detection with and without the aid of a directional noise generator. *American Foundation for the Blind. Research Bulletin*, 29, 67-85.
- Clifton, R.K., Freyman, R.L., Litovsky, R.Y. & McCall, D. (1994). Listener's expectations about echoes can raise or lower echo threshold. *Journal of the Acoustical Society of 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.
- Cotzin, M. & Dallenbach, K.M. (1950). Facial vision: The role of pitch and loudness in the perception of obstacles by the blind. *The American Journal of Psychology*, 63, 485-515.
- Diderot, D. (2002). *Carta sobre los ciegos* [Letter about blind people], (J. Escobar, Trad.). Valencia: Pre-Textos, Fundación Once. (Trabajo original publicado en 1749).
- Dolanski, W. (1930). Les aveugles possèdent-ils le "sens des obstacles"? [Does blind people possess the "sense of obstacles"?]. *L'Année Psychologique*, 23, 1-50.
- Dresslar, F.B. (1893). On the pressure sense of the drum of the ear and "facial vision". *American Journal of Psychology*, 5, 344-350.
- Forsman, K.A. & Malmquist, M.G. (1988). Evidence for echolocation in the common shrew. *Sorex araneus*. *Journal of Zoology*, 216(4), 655-663.
- Foschi, M.B. & Blanco, C. (1968). *Algunos aspectos sobre la orientación espacial de los ciegos* [Some aspects about spatial orientation by the blind]. Tesis de Licenciatura no publicada. Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Freyman, R.L., McCall, D.M. & Clifton, R.K. (1998). Intensity discrimination for precedence effect stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 2031-2041.
- Griffin, D.R. (1953). Acoustic orientation in the oil bird, *steatornis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 39(8), 884-893.
- Griffin, D.R. (1988). Cognitive aspects of echolocation. En P.E. Nachtigall & P.W.B. Moore (Eds.), *Animal sonar: Processes and performance* (Secc. 5, pp. 683-690). New York: Plenum Press.
- Griffin, D.R. & Galambos, R. (1941). The sensory basis of obstacle avoidance by flying bats. *Journal of Experimental Zoology*, 86, 481-506.
- Hausfeld, S., Power, R.P., Gorta, A. & Harris, P. (1982). Echo perception of shape and texture by sighted subjects. *Perceptual Motor Skills*, 55, 623-632.
- Hayes, S.P. (1935). Facial vision of the sense of obstacles. *Perkins Publications*, 12. Watertwon,

Ecolocación humana: Revisión histórica - Primera Parte

- MA: Perkins Institution and Massachusetts School for the Blind.
- James, W. (1890). *The principles of Psychology*. New York: Henry Holt Co.
- Kellogg, W.N. (1962). Sonar system of the blind. *Science*, 137, 399-404.
- Kish, D. (2003). Sonic echolocation: A modern review and synthesis of the literature. Recuperado el 10 de octubre de 2007 de <http://www.worldaccessfortheblind.org>
- Köhler, I. (1964). Orientation by aural clues. *American Foundation for the Blind. Research Bulletin*, 4, 14-53.
- Kuhn, T.S. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas* [The structure of scientific revolutions]. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lamarque, G. (1929). La sensation des obstacles chez les aveugles [Obstacles sensation by the blind]. *Journal de Psychologie*, 24, 494-522.
- Levy, W.H. (1872). *Blindness and the blind: Or a treatise on the science of typology*. London: Chapman and Hall.
- Masterton, R.B. (1992). Role of the central auditory system hearing: The new direction. *Tins*, 15(8), 280-284.
- McAdams, S. (1992). Recognition of sound sources and events. En S. McAdams & E. Bigand (Eds.), *Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition* (pp. 146-198). Oxford: Oxford University Press.
- Mouchet, E. (1938). Un nuevo capítulo de psicofisiología: El tacto a distancia o sentido de los obstáculos en los ciegos [A new chapter in Psychophysiology: Remote touch or the obstacles sense by the blind]. *Anales del Instituto de Psicología. Universidad de Buenos Aires*, 2, 419-441.
- Nachtigall, P.E. & Moore, P.W.B. (1988). *Animal sonar: Processes and performance*. New York: Plenum.
- Neuhoff, J. (2004). *Ecological psychoacoustics*. San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Rice, C.E. (1967). Human echo perception. *Science*, 156, 656-664.
- Rice, C.E. (1969). Perceptual enhancement in the early blind? *The Psychological Record*, 19, 1-14.
- Rice, C.E. (1970). Early blindness, early experience and perceptual enhancement. *Research Bulletin*, 22, 1-22.
- Rice, C.E., Feinstein, S.H. & Schusterman, R.J. (1965). Echo detection ability of the blind: Size and distance factors. *Journal of Experimental Psychology*, 70(3), 246-251.
- Romains, J. (1924). *Eyeless sight. A study of extra-retinal vision and the paroptic sense*. New York - London: The Knickerbocker Press.
- Saberi, K. & Perrott, D.R. (1990). Lateralization thresholds obtained under conditions in which the precedence effect is assumed to operate. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87(4), 1732-1737.
- Schenkman, B. (1985). Human echolocation: The detection of objects by the blind. Tesis Doctoral. *Acta Universitatis Upsaliensis. Abstracts of Uppsala Dissertations. Faculty of Social Sciences*, 36.
- Seki, Y., Ifukube, T. & Tanaka, Y. (1994). Relation between reflected sound localization and the obstacle sense of the blind. *Journal of Acoustical Society of Japan*, 50 (4), 289-295.
- Stoffregen, T.A. & Pittenger, J.B. (1995). Human echolocation as a basic form of perception and action. *Ecological Psychology*, 7(3), 181-216.
- Strelow, E.R. & Brabyn, J.A. (1982). Locomotion of the blind controlled by natural sound cues. *Perception*, 11, 635-640.
- Supa, M., Cotzin, M. & Dallenbach, K.M. (1944). Facial vision: The perception of obstacles by the blind. *The American Journal of Psychology*, 53(2), 133-183.
- Villey, P. (1923). Le sens des obstacles chez les aveugles de la guerre [The obstacle sense by blind soldiers]. *Revue Philosophique*, 95, 98-131.

Arias, Hüg, Bermejo, Venturelli y Rabinovich

Worchel, P. & Dallenbach, K.M. (1947). Facial vision: Perception of obstacles by the deaf blind. *The American Journal of Psychology*, 60, 502-553.

Worchel, P., Mauney, J. & Andrew, J. (1950). The perception of obstacles by the blind.

Journal of Experimental Psychology, 40, 746-751.

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

*Centro de Investigación y
Transferencia en Acústica (CINTRA)
Facultad Regional Córdoba
Universidad Tecnológica Nacional
Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas (CONICET)
Córdoba - República Argentina*

Fecha de recepción: 29 de diciembre de 2009

Fecha de aceptación: 28 de abril de 2010