

# Cirugía y Cirujanos

Volumen 72  
Volume

Número 4  
Number

Julio-Agosto 2004  
July-Augosto

*Artículo:*

Comunicación y comportamiento auditivo obtenidos por medio de los potenciales evocados auditivos en mamíferos, aves, anfibios y reptiles

Derechos reservados, Copyright © 2004:  
Academia Mexicana de Cirugía

Otras secciones de este sitio:

-  [Índice de este número](#)
-  [Más revistas](#)
-  [Búsqueda](#)

*Others sections in this web site:*

-  [\*Contents of this number\*](#)
-  [\*More journals\*](#)
-  [\*Search\*](#)



[Medigraphic.com](http://Medigraphic.com)

# Comunicación y comportamiento auditivo obtenidos por medio de los potenciales evocados auditivos en mamíferos, aves, anfibios y reptiles

Acad. Dr. Emilio Arch-Tirado,\* Acad. Dr. Miguel Ángel Collado-Corona,\*  
Dr. José de Jesús Morales-Martínez\*

## Resumen

**Material y métodos:** treinta ranas toro, 22 lagartijas comunes, 20 palomas comunes, 20 cobayos. Para el análisis de los potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC), los anfibios, las aves y los mamíferos, fueron anestesiados con ketamina, 20, 25 y 50 mg/kg, respectivamente, inyectadas intramuscularmente. Los reptiles fueron anestesiados por congelación (6°C). A los animales les colocamos electrodos de aguja en una línea imaginaria sobre la línea media sagital, entre ambos oídos y ojos, detrás del oído derecho y detrás del oído izquierdo. La estimulación fue realizada dentro de una cámara sonoamortiguada, a través de una bocina en campo libre. La señal electroencefalográfica fue filtrada entre 100 y 3,000 Hz, promediada y analizada en una computadora de potenciales evocados multisensoriales (Racia APE 78).

**Resultados:** en los anfibios, las ondas de respuestas evocadas mostraron una latencia mayor en relación con las otras especies. En los reptiles se observó latencia menor en comparación con los anfibios. En las aves se observaron valores de latencia más cortos y en los cobayos fueron más prolongados que las palomas, pero estimulados a 10 dB, lo que demuestra el mejor umbral auditivo de las cuatro especies estudiadas.

**Conclusiones:** analizar y estudiar la conducta vocal y su retroalimentación auditiva en las diferentes especies permitirá proponer modelos para el estudio de las alteraciones de la comunicación humana, tales como la ligadura de la arteria carótida en la producción quirúrgica de hipoacusias experimentales y modelos para el estudio del aprendizaje. A partir de estos registros podemos decir que la respuesta por PEATC se muestra más compleja, con valores de latencia absoluta menores conforme avanzamos en la escala filogenética, por

## Summary

**Methods:** Animals: amphibians, *Frog catesbeiana* (frog bull, 30 animals); reptiles, *Sceloporus torquatus* (common small lizard, 22 animals); birds: *Columba livia* (common dove, 20 animals), and mammals, *Cavia porcellus*, (guinea pig, 20 animals). With regard to lodging, all animals were maintained at the Institute of Human Communication Disorders, were fed with special food for each species, and had water available *ad libitum*. Regarding procedure, for carrying out analysis of auditory evoked potentials of brain stem SPL amphibians, birds, and mammals were anesthetized with ketamine 20, 25, and 50 mg/kg, by injection. Reptiles were anesthetized by freezing (6°C).

Study subjects had needle electrodes placed in an imaginary line on the half sagittal line between both ears and eyes, behind right ear, and behind left ear. Stimulation was carried out inside a no noise site by means of a horn in free field. The signal was filtered at between 100 and 3,000 Hz and analyzed in a computer for provoked potentials (Racia APE 78).

**Results:** In data shown by amphibians, wave-evoked responses showed greater latency than those of the other species. In reptiles, latency was observed as reduced in comparison with amphibians. In the case of birds, lesser latency values were observed, while in the case of guinea pigs latencies were greater than those of doves but they were stimulated by 10 Db, which demonstrated best auditory threshold in the four studied species. Last, it was corroborated that as the auditory threshold of each species it descends conforms to its advances in the phylogenetic scale.

**Conclusions:** Beginning with these registrations, we are able to say that response for evoked brain stem potential showed to be more complex and lesser values of absolute latency as

\* Instituto de la Comunicación Humana. Centro Nacional de Rehabilitación.

## Solicitud de sobretiros:

Acad. Dr. Emilio Arch-Tirado.

Instituto de la Comunicación Humana, Área de Gobierno Cuerpo 8, Segundo piso, Centro Nacional de Rehabilitación, Calz. México-Xochimilco 289, Col. Arenal de Guadalupe, 14389 México, D. F. Tel.: 5999 1000, extensiones 19312 y 18334.

Recibido para publicación: 19-05-2004.

Aceptado para publicación: 25-06-2004.

lo que el umbral auditivo de cada especie desciende conforme se avanza en la escala filogenética. Estos datos indican que el procesamiento de la información auditiva es de mayor complejidad en especies más evolucionadas.

**Palabras clave:** etología, comunicación animal, potenciales evocados auditivos, comportamiento auditivo, modelos animales.

we advance along the phylogenetic scale; thus, the opposing auditory threshold is better agreement with regard to the phylogenetic scale among studied species. These data indicated to us that seeking of auditory information is more complex in more evolved species.

**Key words:** Ethology, Animal communication, Auditory evoked potential, Auditory behavior.

## Introducción

Proponer modelos animales para la investigación científica biomédica es vital para el desarrollo de diversas áreas. Analizar y estudiar la conducta vocal y su retroalimentación auditiva en las diferentes especies permitirá proponer modelos para el estudio de las alteraciones de la comunicación humana.

Entre los vertebrados la audición se desarrolló como una adaptación de los mecanismos de percepción vibratoria; esta capacidad les proporcionó un medio para rastrear presas o escapar de los depredadores y favoreció la supervivencia. Posteriormente la utilizaron como medio de comunicación<sup>(1,2)</sup>.

El desarrollo de la audición fue una adaptación de los mecanismos existentes de percepción vibratoria, desarrollados con éxito en los órganos de la línea lateral y el laberinto<sup>(3)</sup>.

En los pescados no hay un órgano relacionado con la sensibilidad del sonido; en los peces la audición está presente aun cuando no existe un órgano auditivo específico, se lleva a cabo mediante vibraciones hidrodinámicas a través de la línea lateral<sup>(4)</sup>.

Durante la metamorfosis, el renacuajo posee línea lateral y la rana adquiere un nuevo oído medio, análogo al encontrado en los demás vertebrados vivientes<sup>(5)</sup>, por lo que las larvas en esta especie tienen una percepción hidrodinámica parecida a la de los peces. Al salir del agua, posterior a la metamorfosis, estos animales discriminan señales acústicas aéreas. Por lo antes mencionado, se puede decir que la rana ilustra un experimento logrado por la naturaleza con el uso de estructuras anatómicas y vías existentes con base en la adaptación funcional a nuevas necesidades ambientales. Este fenómeno no sólo ocurrió en la evolución durante milenios, sino que se repite en la metamorfosis de cada animal permitiendo su observación directa y sirviendo como un modelo descriptivo o experimental con una modificación del proceso<sup>(6)</sup>.

En los reptiles, la extracolumnela está unida por su extremo exterior al hueso cuadrado y la transmisión de las vibraciones sonoras hasta la perilinfa se verifica a través de mandíbula, extracolumnela, plectrum y ventana oval. En los quelonios acuáticos la membrana del tímpano es fina y delicada, mientras que en las especies terrestres es gruesa y está cubierta por la piel<sup>(3)</sup>.

En el caso de las aves existe un oído medio bien desarrollado y la membrana timpánica se encuentra situada a cierta profundidad en el fondo de un conducto estrecho. Las trompas de Eustaquio sólo tienen una salida faríngea de posición media<sup>(7)</sup>.

Los mamíferos poseen el sistema auditivo más desarrollado sobre la tierra y son en general más sensibles a la energía acústica, por lo que presentan mayor discriminación y gracias a sus características anatomofisiológicas tienen un rango auditivo muy amplio (desde infra hasta ultrasonido), en comparación con otros vertebrados. Al parecer, tanto el sentido olfativo como el de la audición fueron una adaptación a la vida nocturna, debido a que cuando los mamíferos aparecieron los grandes saurios dominaban la tierra; por lo que esos pequeños animales tuvieron que adaptarse a la oscuridad para no ser encontrados<sup>(8)</sup>.

Como se mencionó anteriormente, el sentido de la audición en las diferentes especies es esencial para la recepción de señales acústicas procedentes de otros animales y del medio ambiente. En este proceso va implícita la socialización y el aprendizaje de las vocalizaciones específicas entre congéneres. Los animales recién nacidos de ciertas especies son expuestos a señales acústicas que inducen a una memoria auditiva<sup>(9-11)</sup>. La memoria auditiva facilita las señales individuales y grupales, así como del medio ambiente<sup>(12,13)</sup>.

La retroalimentación vocal y auditiva entre congéneres es un componente importante para la apropiada respuesta vocal y social entre éstos, y de alguna manera mantiene una conducta convencional en cada especie<sup>(14,15)</sup>.

En los animales se han clasificado cuatro tipos de señales sonoras (principalmente en aves y mamíferos):

a) *Sonidos neonatales*: aquellos que emiten las crías y las madres para mantener la interacción durante la lactancia, así como las demandas básicas de los recién nacidos (hambre, frío, soledad, peligro, etc.). Como ejemplo podemos citar a los porcinos, en los cuales se ha identificado una interacción de vocalizaciones entre madres e hijos durante la lactancia. Esto se ha comprobado en granjas donde los ventiladores hacen mucho ruido: los lechones no

- alcanzan el peso ideal al no escuchar los llamados maternos producidos durante la bajada de la leche.
- b) **Sonidos integrativos:** son los que mantienen juntas a las camadas o a las colonias de determinadas especies, lo que es vital para la supervivencia y la cohesión de sus integrantes, como sucede con los lobos, que utilizan una gran cantidad de vocalizaciones para sus procesos de socialización cuando necesitan unir a la manada para la cacería o la defensa.
  - c) **Sonidos de competencia:** en la mayoría de las especies son muy importantes las jerarquías sociales y la identificación de espacios territoriales. Las vocalizaciones de competencia son muy comunes para establecer dichas categorías, para defender los espacios territoriales y de alguna manera para evitar las peleas entre congéneres. Las ranas y sapos compiten por sus territorios a través de vocalizaciones, esto es, el que “canta” más fuerte es el que obtiene el territorio.
  - d) **Sonidos sexuales:** son los producidos por los animales en épocas de cortejo. Posiblemente en estas vocalizaciones se encuentra la mayor riqueza y evolución. En época de celo aumenta en los pájaros cantores el nivel de testosterona favoreciendo el incremento de conexiones neuronales, lo que produce en ellos mayor riqueza en sus cantos, factor importante para la formación de parejas<sup>(16-18)</sup>.

Los cambios en la morfología y aparición de las diferentes ondas de los potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC) están de acuerdo con la maduración y desarrollo de los mamíferos, como resultado de la eficiencia en la transmisión de las sinapsis que conforman los núcleos de la vía auditiva en el tallo cerebral y de los cambios en el número y sincronización de la descarga neural a través de las sinapsis. De una manera muy simple se puede decir que el desarrollo de los PEATC en los animales representa la activación secuencial de los núcleos del tallo cerebral y el orden en el cual cada onda va apareciendo, es registrado como índice del desarrollo y maduración progresiva de la vía auditiva a través del tallo cerebral<sup>(19)</sup>.

El objetivo del presente trabajo es describir el comportamiento auditivo en mamíferos, aves, anfibios, reptiles y correlacionarlo con sus patrones de comunicación.

## Material y métodos

### Animales

Anfibios- *Rana catesbeiana* (rana toro, 30 ejemplares).

Reptiles- *Sceloporus torquatus* (lagartija común, 22 ejemplares).

Aves- *Columba livia* (paloma común, 20 ejemplares).

Mamíferos- *Cavia porcellus* (cobayo, 20 ejemplares), todos ellos pigmentados, por la asociación existente entre las sorderas congénitas y el albinismo en mamíferos<sup>(20-24)</sup>.

### Alojamiento

Todos los animales fueron mantenidos en el bioterio del Instituto de la Comunicación Humana, nutridos con alimento especial para cada especie y agua potable *ad libitum*.

### Procedimiento

Para efectuar el análisis de los potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC), los anfibios, las aves y mamíferos fueron anestesiados con ketamina, a dosis de 20, 25 y 50 mg/kg, respectivamente, inyectada intramuscularmente. Los reptiles fueron anestesiados por congelación (6°C).

A los sujetos del estudio se les colocaron electrodos de aguja en una línea imaginaria sobre la línea media sagital ( $C_2$ ), entre ambos oídos y ojos, detrás del oído derecho y detrás del oído izquierdo ( $A_1$  y  $A_2$ ).

La estimulación fue realizada dentro de una cámara sononamortiguada, a través de una bocina en campo libre. La señal electroencefalográfica fue filtrada entre 100 y 3,000 Hz, promediada y analizada en un equipo de potenciales evocados multisensoriales (Racia APE 78).

El tiempo de análisis fue de 20 milisegundos. La latencia absoluta de cada onda y los intervalos entre éstas fueron determinadas mediante un cursor durante el estudio. El umbral auditivo fue definido como la menor intensidad en dB a la cual se podía provocar la presencia de una onda mesencefálica de manera reproducible.

El estímulo auditivo para la prueba fue de 40 dB para las ranas y las lagartijas, 25 dB para las palomas y 10 dB para los cobayos.

### Análisis de los datos

Después de efectuar los PEATC se elaboró una base de datos en donde se calcularon medidas de tendencia central y dispersión (media ± desviación estándar) por cada onda y por especie, para correlacionarlas con el comportamiento vocal.

## Resultados

Respecto a los anfibios, las respuestas evocadas muestran una latencia mayor a las de las otras especies. En los reptiles se observó una latencia reducida en comparación con los anfibios. En las aves se observaron valores cortos de latencia disminuida y en los cobayos las latencias fueron más prolongadas que en las palomas, pero fueron estimulados a 10 dB, lo que demuestra un mejor umbral auditivo de las cuatro especies estudiadas. Por último, se corrobora cómo el umbral auditivo de cada especie desciende conforme se avanza en la escala filogenética.

En el cuadro I se muestra la latencia de las ondas que componen la respuesta en cada especie estudiada.

## Discusión

Al correlacionar los resultados obtenidos con el comportamiento vocal en cada especie tenemos que:

En las ranas, los oídos de los anuros se cierran cuando producen sonidos de alta intensidad. La comunicación desempeña un papel muy importante en la conducta de esta especie. Los sonidos producidos por los machos adultos sirven para atraer a las hembras grávidas, estos sonidos presentan frecuencias dominantes que habilitan a las hembras al acercamiento y selección de los miembros de su propia especie<sup>(3)</sup>.

Los estímulos acústicos más efectivos que producen acercamiento de las hembras grávidas o las respuestas vocales en la colonia tienen provistos sonidos que contienen picos espectrales de energía, frecuencias de 100 a 200 Hz de regiones y en los 1,400 a 1,600 Hz de banda. La energía alrededor de 500 a 600 Hz o los sonidos de competencia en donde la energía excede de 100 a 200 Hz de banda, se registran cuando no son generados para el acercamiento por parte de las hembras o los sonidos producidos por la colonia<sup>(25)</sup>.

Las ranas jóvenes tienen un saco vocal pequeño y las cavidades bucales generan altas frecuencias, como sería el caso de los adultos, pero el repertorio de las vocalizaciones en los anuros es limitado; la función de estas cavidades es crítica para la permanencia de la especie, particularmente en el cortejo y la reproducción.

Se ha identificado que las ranas de gran tamaño emiten sonidos de baja frecuencia; las de menor tamaño emiten vocalizaciones agudas. Las ranas de ambientes fríos repiten sus llamados a un ritmo más lento, pues los músculos que controlan los órganos que rigen la producción vocal trabajan más lentamente.

Los machos de muchas especies producen un canto periódico estereotipado que aumenta la redundancia que permite identificarlos y localizarlos, aun cuando su canto pudiera quedar ahogado. Además, el tímpano y otras partes de los receptores auditivos de un anfibio están ajustados al tono

y al período del canto propio de la especie en cuestión, lo que permite una audición fina y selectiva.

En nuestro laboratorio obtuvimos PEATC en *Rana catesbeiana*, en la cual se observa sólo la presencia de dos ondas (Cuadro I) en el potencial auditivo provocado. Su umbral auditivo está relativamente elevado en comparación con vertebrados superiores. Se ha señalado que a pesar de poseer centros nerviosos en el tallo cerebral, la información auditiva es procesada de manera preferente en la periferia. Ésta pudiera ser una explicación congruente de la respuesta de sólo dos ondas. En otras investigaciones en las cuales se han registrado PEATC en *Rana catesbeiana* y diferentes anfibios, se han encontrado resultados similares<sup>(26,27)</sup>.

En la mayoría de los reptiles la membrana timpánica está ubicada al mismo nivel de la superficie de la piel, pero en algunos saurios y cocodrilos está en el fondo de una depresión.

Los sonidos producidos por algunos reptiles sirven para evitar la antidepredación. Los reptiles que están quietos durante mucho tiempo emiten bandas anchas y sonidos intensos cuando son perturbados o amenazados.

La mayoría de las vocalizaciones emitidas por los cocodrilos son sonidos similares a los producidos cuando son amenazados o perturbados. Gruñidos o chillidos son repunteo por funciones similares a otros reptiles, ya que los llamados han sido en algunos reptiles posiblemente para disuadir predadores, lo que constituye una de las funciones básicas y primitivas en la función acústica de la comunicación en los reptiles de un grupo.

El oído interno de los reptiles contiene el único tejido sensorial, la papila basilar. Este órgano tiene una forma alargada para aumentar el área receptora. La longitud de la papila y de las poblaciones de células ciliadas tiene importante función en la organización tonotópica<sup>(28)</sup>.

El uso del sonido como señal comunicativa es importante en algunas especies como los cocodrilos que emiten diversos sonidos ante el miedo, el llamado a la cópula, amenazas, etcétera. En nuestro laboratorio ha sido posible efectuar registros del potencial evocado auditivo del tallo cerebral en *Sceloporus torquatus* y se ha observado una morfología más compleja (cuatro ondas), en relación con la de anfibios; el umbral auditivo encontrado es comparable a la *Rana cates-*

**Cuadro I.** Potenciales auditivos en cuatro clases de vertebrados

Especie	I	II	III	IV
<i>Rana catesbeiana</i> *	2.73 ± 0.17	4.26 ± 0.31		
<i>Sceloporus torquatus</i> *	3.00 ± 0.52	4.50 ± 0.81	5.80 ± 0.97	7.18 ± 1.34
<i>Columba livia</i> **	1.79 ± 0.11	2.46 ± 0.14	3.14 ± 0.2	3.71 ± 0.18
<i>Cavia porcellus</i> ***	2.0 ± 0.3	2.9 ± 0.5	3.6 ± 0.4	4.5 ± 0.7

\*40 dB, \*\*25 dB, \*\*\*10 dB (media ± desviación estándar)

biana (Cuadro I). Al parecer no existen trabajos sobre PEAT en el *Sceloporus torquatus*, ya que la mayoría de los esfuerzos se han centrado en el cocodrilo<sup>(29)</sup>.

En las aves existe un oído medio bien desarrollado y la membrana timpánica se encuentra situada a cierta profundidad en el fondo de un conducto estrecho. Las trompas de Eustaquio sólo tienen una salida faríngea de posición media.

Los pájaros cantores tienen dos laringes, una superior y una inferior conocida como siringe, con la peculiaridad de que el papel principal en la fonación no corresponde a la laringe superior sino a la inferior. La laringe inferior de los pájaros se encuentra en la parte baja de la tráquea, en donde ésta se bifurca en dos bronquios principales. El aparato de fonación de los pájaros por sus dimensiones ocupa una parte considerable del cuerpo. La diversidad en la estructura del aparato de fonación y en los modos de fonación corresponde a la diversidad de los propios sonidos de la voz de los cantores alados, que se extiende desde los graznidos bajos característicos de los gansos, patos y cuervos, hasta los altísimos silbidos melódicos de los pájaros cantores de la familia de los fringílidos<sup>(7)</sup>.

Los estudios formales de los sonidos emitidos por pájaros han contribuido al conocimiento de nuestras funciones de comunicación y aprendizaje. De las 8,500 especies vivientes de pájaros, sólo la mitad canta; a éstos se les conoce como oscinas o pájaros cantores<sup>(30,31)</sup>.

La distinción entre llamados y cantos posiblemente es más obvia en los pájaros que en otros animales. Los llamados a menudo aparecen como simples elementos del canto de los pájaros. Los cantos tienden a ser largos y la estructura acústica es más compleja que en los llamados; como quiera que sea, las vocalizaciones de los grupos taxonómicos pueden ser más extensas que los llamados de otros.

El canto en las aves está regulado por funciones hormonales sincronizadas con la actividad reproductiva. El canto de los pájaros tiene dos funciones: promueve la defensa territorial y puede atraer a las hembras en épocas de celo. En algunas especies mantiene el contacto entre los miembros por pares y posiblemente sincronice horarios de patrones conductuales. El significado de las señales fónicas entre los padres y polluelos es importante, sobre todo para aquellas especies de pájaros que anidan en los huecos de árboles y, por lo tanto, no pueden ver a sus polluelos. Para las especies con nidos abiertos tiene gran importancia la vista, la cual les permite distinguir a sus propios polluelos de los de otras especies<sup>(3)</sup>.

Los pájaros tienen llamados de alarma en presencia de depredadores, esto puede reducir considerablemente la efectividad de los sonidos principales de localización (por ejemplo, la diferencia de la intensidad del sonido y el tiempo de llegada a los dos oídos) para seleccionar las frecuencias acústicas, las cuales pueden ser inoperables para otras especies.

De todos los vertebrados, los pájaros y los mamíferos son los que usan más el repertorio vocal en sus encuentros diarios. La agudeza auditiva que poseen los pájaros ha sido una importante ventaja sobre otras especies y, tras la llegada de las fibras nerviosas al tallo cerebral, éstas se distribuyen en los núcleos cocleares principales; magnocelular y angular. Las fibras langenares se distribuyen en los núcleos vestibulares, cerebelosos y cocleares. Los núcleos cocleares proyectan en forma preferentemente cruzada hacia el núcleo laminar, otras fibras alcanzan el leminisco lateral y al núcleo lateral mesencefálico. El cuerpo trapecioide forma el siguiente relevo cerca de la oliva superior, después la información llega al leminisco lateral. Posteriormente las vías nerviosas envían fibras hacia el mesencéfalo y es aquí en donde se identifica una importante comisura que une a ambos núcleos auditivos mesencefálicos. De allí por medio del brazo las fibras nerviosas pasan al núcleo talámico semilunar ovoide en el cual también existen fibras comisurales. Posteriormente las fibras pasan hacia el paleoestriado aumentado para terminar en una región media caudal del neoestriado designado campo L de Rose en el telencéfalo del ave<sup>(32)</sup>. El sonido provee un medio útil y eficiente de transmitir información de los miembros de mismas especies. Bajo tales circunstancias los pájaros han explotado estas ventajas con gran éxito.

Es importante distinguir entre el canto y los gritos. Los gritos son señales breves emitidas en cualquier período del año por el macho o la hembra de la mayoría de las especies. En cambio, los cantos son señales largas y completas generalmente emitidas sólo por el macho durante el período de reproducción y solamente en algunas especies. Básicamente son para adquirir y conservar un territorio o un compañero sexual. Se ha demostrado que la testosterona juega un papel importante en el canto de las aves. Al castrar a los machos se distingue una disminución en la producción de los cantos; asimismo, al inyectar testosterona a las hembras, éstas empiezan a cantar. Cerca de 70% de todas las especies cantoras emiten más de un tipo de canto.

En los pájaros debe existir una retroalimentación auditiva durante la fase del desarrollo motor, esto es, escuchar el canto de los adultos, período durante el cual los pequeños producen una especie de precanto, que aparece usualmente a los 150 o 200 días del nacimiento.

Si a los pájaros se les priva del sentido del oído antes de iniciado el precanto, no pueden armonizar su producción vocal con lo que han memorizado de su especie durante la fase sensible y solamente pueden producir un canto variable sin estructura y desprovisto de todas las características propias de su especie. Por ello, el órgano auditivo y fonador es vital para la permanencia y supervivencia de estos animales.

El registro en nuestro laboratorio (Cuadro I) procede de una paloma (*Columba livia*), las latencias de la respuesta

son las de mayor brevedad encontradas y el umbral auditivo es mejor que el de los vertebrados inferiores estudiados, lo que no hace pensar que el procesamiento de la información estuviera adaptado para respuestas más rápidas.

De todos los vertebrados, los mamíferos son sin duda los que tienen mejor audición, a la vez son el grupo más estudiado. De lo anterior existen excelentes revisiones sobre el tema<sup>(33)</sup>.

Algunos mamíferos han evolucionado en complejos acústicos multifuncionales y sistemas de comunicación, por ejemplo, las llamadas neonatales emitidas por los animales después del nacimiento son breves y las madres responden a éstas. Conforme los animales van creciendo sus vocalizaciones cada vez son más complejas, maduran hasta mantener interacciones vocales entre los miembros de su camada y finalmente sirven para socializarse con sus congéneres.

En los cetáceos se ha encontrado que existe evidencia de plasticidad en el aprendizaje y la composición vocal; también es sabido que en estos animales los hemisferios son totalmente autónomos, al grado que cada uno de ellos duerme independientemente del otro; de la misma manera, el lado derecho de la laringe funciona por separado del izquierdo. Los cetáceos cuentan con una amplia gama de repertorios en las vocalizaciones producidas por los infantes y adultos, utilizados en todos los procesos de socialización en estas especies<sup>(34-36)</sup>.

Algunos animales han aprendido a usar sus vocalizaciones para orientarse en el medio ambiente, conseguir alimento o para la navegación. Entre los animales que utilizan este medio de ecolocalización se encuentran los murciélagos, los delfines y algunos pájaros. Estos animales emiten breves chasquidos sonoros que se extienden con la velocidad del sonido (340 m/s en el aire y 1,500 m/s en el agua); en el medio circundante tropiezan con distintos obstáculos y vuelven al emisor en forma de eco. Al captar estas señales-ecos con su sensible oído, dichos animales se enteran de la presencia de obstáculos en su camino. La determinación de estas diferencias proporciona al animal la información necesaria para saber de qué se trata. El localizador acústico les permite orientarse en la oscuridad absoluta<sup>(37)</sup>.

Con sus gritos los monos son capaces de advertirse unos a otros sobre la aparición del leopardo, del águila, del pitón cazador, de la lluvia, etc. Existen simios entrenados que se comunican con el hombre mediante lenguaje manual (señas o signado), lo cual constituye una prueba de la capacidad de los animales superiores de utilizar sistemas de señales para la comunicación. Se puede discutir si es una lengua o no. Una cosa es evidente, que las llamadas “señales de los animales” que estamos acostumbrados a clasificar en un mismo contexto, separándolas con un abismo infranqueable de nuestra habla, en realidad son muy diversas en cuanto a su perfección y pueden acercarse en cierto grado a nuestro pro-

pio sistema de comunicación. Se ha demostrado que el sistema de señales de los delfines, por una serie de indicios, es análogo a la estructuración del sistema lingüístico. Los animales emiten raras veces señales aisladas, lo cual suele caracterizar a los animales muy jóvenes. Los delfines adultos unen las señales en grupos, a semejanza de la agrupación de palabras en la organización fraseológica del habla humana. La observación de esta ley indica la existencia de una organización sintáctica y de las relaciones semánticas en el sistema de señales de los delfines.

Los delfines se comunican utilizando un amplio repertorio de sonidos diferentes, desde clics repetitivos para la ecolocalización (y seguramente también para la comunicación) hasta silbidos y gruñidos. Cada delfín genera un único silbido, conocido con el nombre de silbido-firma, lo que implica que los delfines producen muchas clases diferentes de silbidos —como mínimo, de 10 a 25—, (el número de individuos que forman un grupo promedio). Además, deben reconocer el silbido-firma de cada uno de los integrantes del grupo. El delfín que se ha visto en apuros convoca con un silbido a sus semejantes para que acudan en su ayuda. Con el silbido se indican unos a otros el orificio que hay en la red a través del cual escapa toda la bandada, cosa que sucede a menudo cuando se les atrapa.

El cobayo (*Cavia porcellus*) resulta ser el modelo ideal para el estudio de la audición y comunicación en mamíferos, ya que este animal nace neurológicamente maduro y posee un rango de audición muy amplio, así como su producción de vocalizaciones va desde sonidos audibles hasta ultrasónicos<sup>(8)</sup>. Los resultados obtenidos (Cuadro I) muestran la especialización del órgano auditivo en esta especie.

## Conclusiones

- Conocer la conducta vocal en diferentes especies permitirá utilizar modelos en el estudio de las alteraciones de la comunicación humana, tales como la ligadura de la arteria carótida en el análisis de las variaciones de las vocalizaciones; en la producción quirúrgica de hipoacusias experimentales y en el análisis de la retroalimentación auditiva al estudiar la ontogenia de las vocalizaciones en animales normo-oyentes e hipoacúsicos; en modelos para el estudio del aprendizaje en animales a los que previamente se provoca hipoacusia por métodos quirúrgicos.
- A partir de estos registros podemos decir que la respuesta por PEATC se muestra más compleja y con valores de latencia absoluta menores conforme avanzamos en la escala filogenética, por lo que el umbral auditivo encontrado es mejor de acuerdo a la escala filogenética superior entre las especies estudiadas. Estos datos nos indican que el procesamiento de la información auditiva es de mayor complejidad en especies más evolucionadas.

- Poco se sabe de la calidad de la audición en las diferentes especies de vertebrados, pero su estudio a través de los PEATC abre una buena perspectiva para conocer el comportamiento animal, ya que se trata de una técnica sencilla y no invasiva. Otra ventaja es que no requiere la cooperación del animal y la respuesta es objetiva y reproducible; así como el control de las diferentes variables de adquisición como la intensidad, frecuencia y duración del estímulo, estableciéndose curvas audiométricas precisadas para cada especie.
- El estudio de la audición y comunicación animal sienta las bases del comportamiento, de esta manera conocer estos parámetros permitirá entender mejor la etología de las diferentes especies y sus posibles patologías.

## Referencias

1. Sarnat HB, Netsky MG. Sistema de la línea lateral, vestibular y acústica; percepción vibratoria táctil. En: Blume B, editor. Evolución del sistema nervioso. Madrid, España: 1976. pp. 129-162.
2. Arch-Tirado E. Comunicación animal. México: ICYT CONACYT 1991;13(175). pp. 7-10.
3. Arch-Tirado E, Ávila-del Olmo Y. Audición y comunicación (enfoque filogenético). México: Manuales de Medicina de Comunicación Humana; 1999. pp. 15.
4. Stebbins WC. The acoustic sense of animals. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press; 1983. pp. 124-125.
5. Montes-de Oca FE, Arch-Tirado E, Poblano LA. Morfología de la trompa de Eustaquio en la rana. Bol Soc Mex Otol Otoneurocir 1994;2(2):41-42.
6. Brume H, Sarvat H, Nesty H. Evolución del sistema nervioso. España: Ciencia Estudio; 1996. pp. 86-88.
7. Ball GF, Hulse SH. Birdsong. Am Psychol 1998;53:37-58.
8. Arch-Tirado E. Modelos biomédicos en el campo de la comunicación humana. México: Manuales de Medicina de Comunicación Humana; 2001. pp. 47.
9. González-Lima F, Finkenstadt T, Ewert JP. Learning-related activation in the auditory system of the rat produced by long-term habituation: a 2-deoxyglucose study. Brain Res 1989;498:67-79.
10. Snowdon CT. Affiliative processes and vocal development. Ann NY Acad Sci 1997;807:340-351.
11. Snowdon CT, Hausberger M. Social influences on vocal development. UK: Cambridge University Press; 1997.
12. Fay RR, Popper AN. Comparative hearing: mammals. New York: Springer-Verlag; 1994.
13. Knudsen EI. The role of auditory experience in the development and maintenance of sound localization. Trends Neurosci 1984;7:326-330.
14. Brudzynski SM, Chiu EM. Behavioral responses of laboratory rats to playback of 22 KHz ultrasonic calls. Physiol Behav 1995;57:1039-1044.
15. Wang X, Merzenich MM, Beitel R, Schreiner CE. Representation of a species-specific vocalization in the primary auditory cortex of the common marmoset: temporal and spectral characteristics. J Neurophysiol 1995;74:2685-2706.
16. Schmid H. Cómo se comunican los animales. Barcelona, España: Salvat; 1986. pp. 200.
17. Slater PJB. Comunicación. En: Introducción a la etología. México: Crítica; 1988. pp. 173-197.
18. Smith JW. Etología de la comunicación. México: Fondo de Cultura Económica; 1982. pp. 609.
19. Hernández-Orozco F, Flores T, Peñaloza Y. Registros electrofisiológicos para el diagnóstico de la patología de la comunicación humana. México: Instituto Nacional de la Comunicación Humana; 1997. pp. 231-242.
20. Holliday TA, Nelson HJ, Wiliams DC, Willits N. Unilateral and bilateral brainstem auditory-evoked responses abnormalities in 900 Dalmatian dogs. J Vet Intern Med 1992;24:981-989.
21. Lutggen PJ. Deafness in the dog and cat. Vet Clin N Amer Small Animal Practice 1994;24:981-989.
22. Famula TR, Oberbauer AM, Sousa CA. A threshold model analysis of deafness in Dalmatians. Mamm Genome 1996;7:650-653.
23. Schrott A, Spoendlin H. Pigmented anomaly associated. Inner Ear Deafness 1987;10:451-457.
24. Strain GM, Kearney MT, Gingac II, Levesque DC, Nelson HJ, Tedford BC, Remsen LG. Brainstem auditory-evoked potential assessment of congenital deafness in Dalmatians: association with phenotypic markers. J Vet Intern Med 1992;6:175-182.
25. Capranica RR. Auditory system. In: Llinás R, Precht W, editors. Frog neurobiology. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1976. pp. 551-575.
26. Corwin JT, Bullock TH, Schweitzer J. The auditory brainstem response in five vertebrate classes. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1982;54:629-641.
27. Carey MB, Zelick R. The effect of sound level, temperature and dehydration on the brainstem auditory evoked potentials in anuran amphibians. Hear Res 1993;70:216-228.
28. Freeman DM. Anatomical model of the cochlea of the alligator lizard. Hear Res 1990;49:29-38.
29. Kaplan MS, Szaro BG, Weiss TF. Components of cochlear electric responses in alligator lizard. Hear Res 1983;12:323-351.
30. Nottebohm F, Alvarez-Buylla A, Cynx J, Kirn J, Ling CY, Nottebohm M, Suter R, Tolles A, William H. Song learning in birds: the relation between perception and production. Philos Trans R Soc Lond Biol Sci 1990;329:115-124.
31. Pepperberg IM, McLaughlin MA. Effect of avian-human joint attention on allospecific vocal learning by African grey parrots (*Psittacus erithacus*). J Comp Psychol 1996;110:286-297.
32. Boord RL. The anatomy of the avian auditory system. Ann NY Acad Sci 1969;167:186-198.
33. Diamond IT, Feldman M, Galambos R. Neuroanatomy of the auditory system. Arch Otolaryngol 1973;98:397-413.
34. Reiss D, McCowan B. Spontaneous vocal mimicry and production by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): evidence for vocal learning. J Comp Psychol 1993;107:301-312.
35. McCowan B, Reiss D. Whistle contour development in captive-born infant bottlenose dolphins: role of learning. J Comp Psych 1995;109(3):242-260.
36. McCowan B, Reiss D. Vocal learning in captive bottlenose dolphins: a comparison to humans and non-human animals. In: Snowdon CT, Hausberger M, editors. Social influences on vocal development. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1997. pp. 178-207.

