

# Cirugía y Cirujanos

Volumen  
*Volume* **70**

Número  
*Number* **6** Noviembre-Diciembre  
*November-December* **2002**

*Artículo:*

Análisis de vocalizaciones en cobayos  
recién nacidos, normoyentes y con sordera  
provocada en períodos de soledad

Derechos reservados, Copyright © 2002:  
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**

# Análisis de vocalizaciones en cobayos recién nacidos, normoyentes y con sordera provocada en períodos de soledad

Dr. Emilio Arch-Tirado, \* Acad. Dr. Miguel Ángel Collado-Corona\*

## Resumen

**Antecedentes:** en el área de audiolología y foniatría es posible contar con un modelo biomédico. El objetivo del presente trabajo es analizar las vocalizaciones en cobayos recién nacidos con audición normal y con sordera provocada, en etapas tempranas del desarrollo.

**Métodos:** para el estudio se utilizaron 10 camadas de cobayos pigmentados. Por camada se utilizaron a las dos hembras de mayor peso, a una de ellas se le destruyó la cóclea al nacimiento por métodos quirúrgicos. Cinco días a la semana se registraron las vocalizaciones que emitían hasta el día 15 postnacimiento. Se registró en series de seis minutos tanto a los controles como a los experimentales en soledad, este procedimiento se realizó por cada camada del estudio tanto a los controles (normoyentes) como a los experimentales (sordos).

**Resultados:** se encontró que los animales normoyentes en comparación con los animales sordos producen sonidos con más armónicos. Al calcular el promedio y la desviación estándar de las frecuencias fundamentales de todos los registros y en ambos grupos se obtuvo para los normales  $1,535.28 \pm 659.95$  y en los sordos de  $1,332.75 \pm 1,185.87$  Hz con una diferencia significativa para  $p = 0.05$ .

**Discusión:** los cobayos sordos vocalizan durante mayor tiempo y las vocalizaciones van perdiendo armónicos en comparación con los normoyentes que, a lo largo del tiempo sus vocalizaciones van siendo cada vez más elaboradas. Los resultados muestran la importancia de la retroalimentación auditiva para la maduración y desarrollo de vocalizaciones en esta especie.

**Palabras clave:** retroalimentación auditiva, análisis de vocalizaciones, sordera y vocalizaciones, modelos animales.

## Summary

**Antecedents:** In the areas of audiology and phonology it is possible to have biomedical models. The aim of the present study was to examine the ontogeny of isolation calls in normal and deafened infant guinea pigs.

**Methods:** The study was conducted from 2-15 days postpartum to determine the role of vocalization in infant guinea pig vocal responses in contexts of isolation. Female newborn pigmented guinea pigs (*Cavia porcellus*) were housed with their birth mothers and siblings. At day 1 postpartum, the cochlea of infants in the experimental group was destroyed. The control group consisted of normal-hearing female siblings. Vocalizations from infants in experimental (deaf) and control groups were recorded for 6 min in isolation. Analysis of calling was calculated for each vocalization of the recording.

**Results:** Results demonstrated that deaf infant vocalizations are immature compared to those of normal hearing animals. Vocal activity of isolated deaf and normal-hearing infants decreased substantially over development. To make mean and standard deviation from the fundamental frequency in each group, results for normal hearing were  $1,535.28 \pm 659.95$  and of deaf animals,  $1,332.75 \pm 1,185.87$  Hz, with significance difference for  $p = 0.05$ . **Discussion:** This paper analyzes the frequency of vocalizations in normal-hearing and deaf guinea pigs during the first 10 days after birth. Results showed that deaf animals vocalized more during the time studied and their vocalizations lost harmonics compared to normal-hearing animals. These results indicated that the guinea pig offers a viable model for investigating audition in deaf and normal-hearing human infants.

**Key words:** Auditory feedback, Deafness, Vocalizations, Vocalization analysis, Animal model.

## Introducción y antecedentes

La audición en las diferentes especies animales es esencial para la recepción de señales acústicas que proceden de otros animales así como del medio ambiente, en este proceso la socialización y el aprendizaje de las vocalizaciones específicas entre congéneres son esenciales para la permanencia de las especies. Los animales recién nacidos de ciertas especies desarrollan una memoria auditiva como resultado de la interacción de vocalizaciones con sus congéneres<sup>(1-4)</sup>.

\* Instituto de la Comunicación Humana CNR.

Solicitud de sobretiros:

Dr. Emilio Arch Tirado

Tel. 59991000 ext. 19303 y 18334.

E-mail: arch@infosel.net.mx

Recibido para publicación: 31-05-2002.

Aceptado para publicación: 20-08-2002.

La memoria auditiva facilita el reconocimiento de las señales individuales, grupales, y las del medio ambiente<sup>(5,6)</sup>. La retroalimentación vocal y auditiva entre congéneres es un componente importante para una apropiada respuesta vocal y social de las vocalizaciones entre ellos y de esta manera se mantiene una conducta convencional en cada especie<sup>(7,8)</sup>.

La ontogenia del lenguaje humano muestra algunas similitudes con el desarrollo de las vocalizaciones en algunas especies animales como el pájaro<sup>(9-11)</sup>, algunos primates no humanos<sup>(12-14)</sup> y otras especies de mamíferos<sup>(15-17)</sup>. En algunas especies de aves, las nuevas señales que emergen en el repertorio vocal y acústico pueden modificar el contexto de algunas señales vocales, conocido este fenómeno como memes, el cual puede ocurrir durante el curso del desarrollo<sup>(18-20)</sup> siendo el resultado de las respuestas vocales entre congéneres. En base a estas características, las aves han sido utilizadas como los primeros modelos animales para el estudio del aprendizaje vocal y del desarrollo del lenguaje humano<sup>(21-23)</sup>.

Las vocalizaciones en las diferentes especies se pueden dividir en cuatro tipos fundamentales, las neonatales, las integradoras, las de competencia y las sexuales, todas ellas de vital importancia para la permanencia de estas especies. Se han identificado en algunos mamíferos infantes vocalizaciones audibles y ultrasónicas (por ejemplo en roedores, cetáceos, murciélagos) normalmente producidas cuando los infantes son separados de sus madres. A estas vocalizaciones se les conoce como "llamados de soledad"<sup>(24-26)</sup>. Las vocalizaciones también son producidas frecuentemente por las madres durante y después de la lactancia<sup>(27,28)</sup>. La importancia del comportamiento vocal entre otros aspectos sociales, como la conducta sexual, ha sido también documentada<sup>(29-31)</sup>. Por lo tanto, la audición de sonidos que se obtiene y que media en las interacciones sociales entre congéneres es esencial para que se efectúen con éxito los procesos reproductivos, así como la supervivencia de los individuos en un amplio margen de especies filogenéticamente distantes.

La fisiología de la producción de sonidos en diferentes mamíferos ha sido estudiada y descrita ampliamente. Las investigaciones han mostrado, que en la mayoría de los mamíferos, los sonidos audibles son producidos durante la exhalación y son causados por la contracción de la laringe. Este mismo mecanismo acontece tanto para las vocalizaciones audibles como ultrasónicas en roedores<sup>(32-34)</sup>.

Las consecuencias de una deficiencia auditiva parcial o permanente en edades tempranas y la relación con el desarrollo del lenguaje en humanos ha sido documentada en diferentes estudios<sup>(35-38)</sup>. Una deficiencia auditiva en animales puede traer consecuencias muy serias en sus procesos de comunicación sonora. En algunas especies de aves, se ha experimentado con sordera provocada, mostrando reducción de 64% en el contenido de su repertorio vocal<sup>(39-41)</sup>. En ex-

perimentos con gatos a los cuales se les ha producido hipoacusia por ototóxicos o por procedimientos quirúrgicos, se ha encontrado que emiten sonidos de doble intensidad comparados con los sonidos emitidos por los animales normoyentes. A lo largo del desarrollo, los gatos sordos continúan incrementando la intensidad de sus vocalizaciones, demostrando la importancia de la retroalimentación auditiva que es necesaria para ajustar el volumen del sonido emitido<sup>(42-45)</sup>. En primates no humanos se ha producido hipoacusia por coagulación eléctrica, en estos sujetos se ha encontrado incremento en la intensidad de los llamados de trineo<sup>(46,47)</sup>. Se encontró un reporte de un caso de un delfín que no emitía ninguna vocalización, al analizar esta conducta se encontró que era consecuencia de una deficiencia auditiva natural que padecía el delfín<sup>(48)</sup>. En ratones con sordera congénita se reporta que emiten muy pocas vocalizaciones ultrasónicas, que son muy comunes entre sus congéneres normoyentes<sup>(49)</sup>. Se ha reportado en diferentes estudios que la actividad motora se incrementa en animales hipoacústicos, así como la presencia de conducta anormal durante el apareamiento<sup>(50-53)</sup>. La rata Zucker con hipoacusia congénita, se ha utilizado como modelo en la investigación auditiva<sup>(54)</sup>. Así, en los estudios de los procesos de la comunicación, la conducta social y vocal de los animales sordos puede contribuir significativamente a los avances en el campo de la audiolología y foniatría.

Es importante recalcar que en el cobayo, la medida del oído medio y la membrana timpánica son grandes, de esta manera el procedimiento quirúrgico, es relativamente fácil, porque se puede efectuar por el oído externo, medio e interno con una mínima pérdida de sangre y una baja mortalidad. Cuando la incisión se realiza por detrás de la oreja, la bula timpánica se localiza fácilmente y cuando se destruye ésta se visualiza completamente la ventana redonda, el epítímpano y la cadena osicular. La cóclea, la trompa de Eustaquio, los canales semicirculares (horizontal y posterior), la membrana timpánica y la cadena osicular se pueden localizar fácilmente con una pequeña incisión en la mejilla. El procedimiento quirúrgico también se puede realizar por vía submaxilar y por el canal suprameatal. En adición a lo descrito, el hueso temporal y las estructuras auditivas del cobayo son un excelente modelo para el estudio del oído humano porque en el acercamiento postauricular al oído medio no se encuentran gran cantidad de vasos sanguíneos ni músculos, y las paredes del hueso lateral del oído medio son penetradas fácilmente con la punta del bisturí. El hueso petroso (cápsula ótica) en estos animales tiene un fácil acceso y disección, sin utilizar un taladro, se pueden exponer las estructuras del oído interno. Estos procedimientos son facilitados en gran medida debido a que la cápsula ótica del cobayo no está incrustada en el hueso temporal. En cambio, sobresale por dentro de la cavidad del oído medio. El oído interno puede

ser disecado en forma íntegra en pocas horas, y la perspectiva anatómica obtenida por el disector es invaluable<sup>(55-57)</sup>.

En adición a las propiedades del cobayo como modelo experimental para el estudio de procesos que involucran al oído humano, otra característica importante del cobayo es que estos animales emiten señales acústicas dentro de los márgenes de audición humana. Berryman ha descrito 11 diferentes tipos de vocalizaciones audibles en estas especies<sup>(58)</sup>. Investigaciones previas han mostrado que cobayos jóvenes de 28 a 42 días de edad emiten más vocalizaciones cuando están solos y en un ambiente desconocido que cuando están cerca de la madre y en ambientes conocidos<sup>(59)</sup>. Se han efectuado estudios en donde se mide la concentración de ACTH en plasma sanguíneo mientras los cobayos emiten vocalizaciones al separarlos de sus madres. Este mismo método se ha utilizado para medir la concentración de norepinefrina y cortisol en plasma sanguíneo en cobayos. Cuando los animales están aislados emiten más vocalizaciones y las concentraciones de cortisol y norepinefrina se incrementan en plasma sanguíneo. Inyecciones de CRH han sido utilizadas para suprimir las vocalizaciones en animales bajo circunstancias similares y las concentraciones de ACTH, norepinefrina, y cortisol fueron medidos después para compararlos con los sujetos testigo. Inyecciones de CRH causan supresión en la producción de vocalizaciones en cobayos infantes, así como la reducción de los niveles de ACTH, norepinefrina y cortisol<sup>(60-64)</sup>.

El objetivo del presente trabajo es analizar la frecuencia de las vocalizaciones en cobayos infantes normoyentes, y con hipoacusia provocada quirúrgicamente desde el nacimiento hasta los 15 días postnacimiento.

## Material y métodos

**Sujetos de estudio.** Para el estudio se utilizaron 10 camadas de cobayos (*Cavia porcellus*) pigmentados. Esto, por la posible asociación entre las sorderas congénitas y el albinismo en mamíferos<sup>(65-70)</sup>. Cada grupo consistió en madre y su camada. El promedio del tamaño de la camada fue de cuatro animales de los cuales dos de ellos fueron utilizados en la investigación. Aproximadamente una semana antes del parto, las hembras seleccionadas para el estudio fueron separadas de la colonia en una jaula individual. Inmediatamente después del nacimiento, las dos hembras que obtuvieron el mayor peso en cada camada fueron escogidas para el estudio. Conformaron la población del estudio 20 hembras recién nacidas de 10 diferentes camadas. Los grupos experimental y testigo se formaron con recién nacidos escogidos por camada, género y peso, para controlar cualquier posible influencia en alguno de estos parámetros, que se pudiera presentar durante el análisis del comportamiento vocal. Se escogieron hembras para el estudio,

por la predominancia de este género en los nacimientos de nuestra población.

Los animales fueron alojados en el Bioterio del Instituto de la Comunicación Humana. Los ciclos de luz y oscuridad fueron regulados, con períodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Las jaulas de los animales son de plástico (dimensiones: 70 x 50 x 33 cm). La cama que se utiliza es de pino compacto y deshidratado. Los animales fueron alimentados con comida de marca comercial especial para cobayos (Guinea pig Diet 5025) *ad libitum*. La dieta fue complementada con agua y vegetales frescos.

Los animales en investigación vivían con la madre y sus compañeros de camada en la misma jaula. (El manejo, alojamiento y alimentación de los animales utilizados para el estudio cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio).

### Procedimiento quirúrgico

Inmediatamente después del nacimiento, a las hembras recién nacidas escogidas para la investigación se les realizó un estudio de potenciales provocados auditivos de tallo cerebral (SPL) usando un equipo Racia APE 78 para verificar la capacidad auditiva de los animales.

Después de la prueba auditiva y confirmado que ambos animales poseían una audición normal, a una de las dos hembras recién nacidas en cada camada se le provocó hipoacusia quirúrgica. El procedimiento fue el siguiente: los animales fueron anestesiados con Ketamina base 100 mg/mL 70 mg/kg de peso. El acercamiento quirúrgico fue a través de la membrana timpánica usando un microscopio quirúrgico (Karl Zeiss) y un equipo de disección otológica. Después que la membrana timpánica fue localizada y destruida, se identificó la cóclea y se destruyó. Postcirugía se realizó una segunda prueba de potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (SPL) para confirmar la pérdida auditiva en el grupo experimental. El grupo control sólo fue anestesiado al no realizársele operación en falso, porque el procedimiento quirúrgico consistió en destruir directamente la membrana timpánica como en los experimentales, causando inmediatamente una pérdida auditiva. El procedimiento experimental para provocar hipoacusia fue validado utilizando 20 cobayos recién nacidos. La membrana timpánica y la cóclea fueron destruidas usando la técnica descrita arriba. A estos sujetos, se les realizó pruebas de capacidad auditiva, sin encontrar respuesta a los 110 dB, demostrando la eficiencia de esta técnica con 0% de mortalidad, en comparación con otros 20 recién nacidos en quienes se utilizó otra técnica quirúrgica para provocar la hipoacusia (realizando una incisión retroauricular, fracturando la bula timpánica, localizando la cóclea y fracturándola), encontrando 20% de mortalidad al utilizar esta técnica en recién nacidos<sup>(71)</sup>.

#### Recolección de datos: grabaciones acústicas

Se utilizaron diez pares de sujetos, cada par consistió en una hembra sorda, grupo experimental (GE), y su hermana normoyente, grupo testigo (GC). En cada una de las camadas, los experimentales y los controles fueron grabados una vez al día desde el día 2 al día 15 postnacimiento, 5 días a la semana. La grabación de las vocalizaciones fue realizada de la siguiente manera: cuando empezaba la sesión de grabación se ponía al animal en una caja de acrílico pintada para que no pudieran ver nada del cuarto de registro. Los animales que se registraban eran separados de la camada. El cuarto en donde se efectuaron los registros estaba aislado de ruido en una cámara sonoamortiguada, y de las vocalizaciones de sus congéneres o de sus hermanos o de la madre. Para efectuar las grabaciones se encendía la grabadora manualmente y se dejaba sólo a los animales durante seis minutos. El infante permanecía solo por seis minutos para registrar las vocalizaciones emitidas durante este período. Este procedimiento se realizó tanto en los grupos controles como en experimentales una vez al día (invariablemente a las 7 de la mañana). El orden para registrar a los experimentales y a los controles, fue alternándolos cada día para evitar un posible condicionamiento de los animales. Esto es, un día se registraba al normoyente primero y al otro día se empezaba con el animal sordo. A los 10 grupos en el estudio se les trató de la misma forma. Los registros se efectuaron con un equipo de audio grabación Fisher con un micrófono omnidireccional MK-2 y audio cassettes de 90 minutos Sony High Fidelity. A los animales sordos se les checaba diariamente por medio del reflejo de Preyer (consiste en realizar un ruido fuerte cerca del animal sin ser visto por él, y observar si existe reflejo auricular, en los animales hipoacúsicos desaparece este reflejo) para verificar la pérdida auditiva<sup>(72)</sup>.

Después del estudio a los animales experimentales no se les sacrificó porque se les utiliza en proyectos etológicos, sobre reproducción, gestación y lactancia de animales sordos.

#### Análisis de datos

Para cada uno de los períodos de grabación, la duración de las vocalizaciones tanto de los animales controles como de los experimentales en cada uno de los diez pares fue medido. Se analizaron vocalizaciones de los 6 minutos registrados por sujeto y por día.

Cuando las grabaciones se efectuaron, se registraba antes de empezar la grabación si se trataba de un animal hipoacúsico o normoyente.

El análisis de las vocalizaciones se midió de la siguiente forma: se reproducía el audio cassette y se analizaban las vocalizaciones con el software Cool Edit 96, el cual efectúa un audiograma de cada vocalización emitida y se mide la fre-

cuencia de cada una de ellas. Este procedimiento se repitió tantas veces como fue necesario (según la cantidad de vocalizaciones emitidas en cada prueba), hasta terminar los seis minutos que duraba el período. Este procedimiento se repitió en cada uno de los diez grupos tanto en experimentales como en controles durante todos los días que duró la prueba.

#### Estadística

Se analizó la frecuencia de cada vocalización y se calculó la media y la desviación estándar de las vocalizaciones por grupo, posterior se efectuó la prueba "F" para encontrar diferencia significativa en la frecuencia fundamental de cada grupo a lo largo del tiempo.

## Resultados

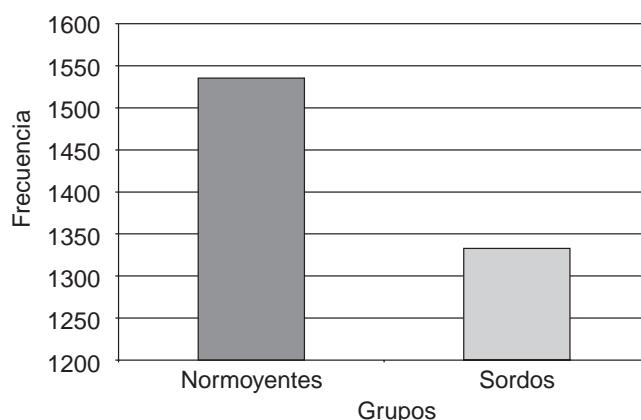
Al calcular el promedio y la desviación estándar (promedio  $\pm$  desviación estándar) de las frecuencias fundamentales de todos los registros y en uno y otro grupos se obtuvo para los normales  $1,535.28 \pm 659.95$  y en los hipoacúsicos de  $1,332.75 \pm 1,185.87$  hertz, (Figura 1).

Es de mencionar que existieron más registros de los animales sordos debido a que éstos realizaron más vocalizaciones en períodos de soledad<sup>(73)</sup>.

Se efectuó la prueba F de las fundamentales de los dos grupos. Obteniendo diferencia significativa para los grupos  $p = 0.05$ .

Al efectuar el promedio de las frecuencias fundamentales por períodos a lo largo del tiempo se obtuvieron los resultados presentados en la figura 2.

Se promedió la fundamental y los armónicos en cada grupo encontrando que los animales normoyentes presentaron siete armónicos en comparación con los sordos que sólo presentaron tres armónicos (Figura 3).



**Figura 1.** Promedio de la frecuencia fundamental en cada grupo.

Por último se presenta el tipo de vocalización en cada estado en donde se puede observar que las vocalizaciones de los animales hipoacúsicos (A) contienen menos armónicos en comparación con los animales normoyentes (B) (Figura 4), también se presentan las vocalizaciones de máximo estrés que sólo se registraron en los animales hipoacúsicos (C), en donde la fundamental y los armónicos suben la frecuencia considerablemente en la misma vocalización (Figura 4).

## Discusión

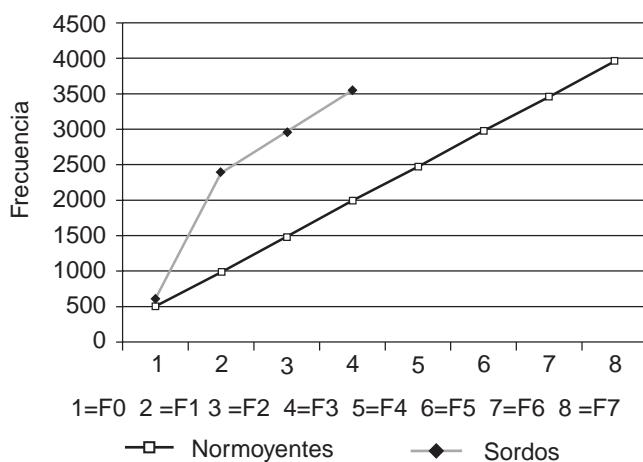
El cobayo es un animal precoz, que abre los ojos y tiene pelo desde que nace, por lo cual los choques térmicos quedan atenuados. Es de suponerse que la emisión de vocalizaciones, así como la ocurrencia de éstas se pueda atribuir al estrés que causa la falta de señales viso-olfativas y audibles procedentes de la madre, por lo cual las vocalizaciones producidas por los animales sordos son de estrés (Figura 4 C). Estos animales bajo estas condiciones experimentales podrían ser utilizados como modelo de estrés. La producción de vocalizaciones en los recién nacidos inducen la conducta materna de protección hacia ellos.

Se han realizado algunos estudios sobre la ontogenia de la conducta vocal en cobayos pigmentados<sup>(74)</sup>. En el presente estudio al analizar la frecuencia de las vocalizaciones producidas por los cobayos hipoacúsicos y normoyentes durante los primeros 10 días post-parto, se encontró que los cobayos hipoacúsicos vocalizan durante mayor tiempo y las vocalizaciones van perdiendo armónicos en comparación con los normoyentes que, a lo largo del tiempo sus vocalizaciones van siendo cada vez más elaboradas (Figura 4 A y B y Figura 3).

Chris, Els & Koopmans-van<sup>(75)</sup>, reportan que los infantes humanos con sordera entre cinco meses 15 días y nueve me-

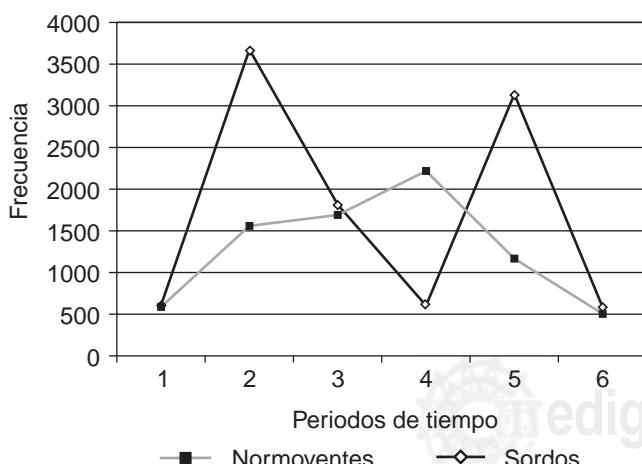
ses 15 días edad, producen mayor cantidad de sonidos en comparación con los niños hipoacúsicos cuando ellos pierden el contacto visual con sus madres. Proponemos realizar un estudio analizando el llanto del niño hipoacúsico comparado con el del normoyente para analizar la frecuencia en cada grupo.

Una mayor producción en las vocalizaciones en cobayos infantes sordos durante períodos específicos y quizás críticos del desarrollo fue encontrada y esta conducta vocal fue de-

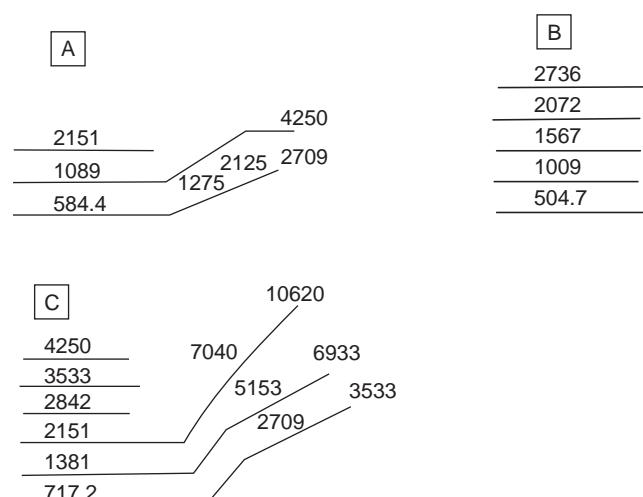


**Figura 3.** Promedio de la fundamental y armónicos en cada grupo.

F0= Frecuencia fundamental, F1= Primer armónico, F2= Segundo armónico, F3= Tercer armónico, F4= Cuarto armónico, F5= Quinto armónico, F6= Sexto armónico, F7= Séptimo armónico.



**Figura 2.** Promedio de la fundamental a lo largo del tiempo.



**Figura 4.** Vocalizaciones en los grupos de estudio.  
A. Espectrograma de animal sordo, en comparación con los normoyentes la vocalización es menos elaborada.  
B y C. Espectrograma de animal normoyente, se observa la maduración vocal a lo largo del tiempo en este grupo de animales (de B a C). Los valores están dados en Hz.

creciendo durante el desarrollo. Este hallazgo es potencialmente relevante en relación a la producción de vocalizaciones en función a la retroalimentación auditiva.

Koitschev et al. llevaron a cabo estudios macroscópicos y microscópicos de la laringe en cobayos, demostrando que ésta puede ser usada como modelo para estudios laringológicos y foniátricos<sup>(76)</sup>. Arch-Tirado et al. propone al cobayo como un modelo ideal de estudios audiológicos por sus características anatomofisiológicas. Nuestros resultados unidos a los estudios previos sugieren que el cobayo ofrece un modelo viable para el estudio de las relaciones entre la producción y la percepción de vocalizaciones en infantes humanos<sup>(71)</sup>.

Los resultados de este estudio muestran la relevancia de la audición en los procesos de comunicación durante estadios específicos del desarrollo, en particular en el contexto de los cobayos infantes. Estudios de estas características sientan las bases para el análisis de la ontogenia de las vocalizaciones en cobayos sordos y normoyentes.

Un segundo propósito de este estudio fue proponer un modelo de fácil acceso y costo para el estudio de las pérdidas auditivas y su relación con la producción de vocalizaciones. Las características anatómicas y fisiológicas del cobayo y la riqueza de sus vocalizaciones audibles, son características fundamentales para proponerlo como un modelo viable para el estudio de la audiolología humana.

## Referencias

1. Arch-Tirado E. Comunicación animal, información científica y tecnológica. 1991;13:7-10.
2. 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.
3. Snowdon CT. Affiliative processes and vocal development. *Ann NY Acad Sci* 1997;807:340-351.
4. Snowdon CT, Hausberger M, editors. Social influences on vocal development. Cambridge, UK: Cambridge University Press;1997.
5. Fay RR, Popper AN. Comparative hearing: mammals. New York: Spring-Verlag;1994.
6. Knudsen EI. The role of auditory experience in the development and maintenance of sound localization. *Trends Neurosci* 1984;7:326-330.
7. Brudzynski SM, Chiu EMC. Behavioral responses of laboratory rats to playback of 22 kHz ultrasonic calls. *Physiol Beh* 1995;57:1039-1044.
8. 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. *Neurophysiol* 1995;74: 2685-2706.
9. Ball GF, Hulse SH. Birdsong. *Am Psychol* 1998;53:37-58.
10. 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, philosophical transactions of the Royal Society of London. *Biol Sci* 1990;329:115-124.
11. Pepperberg IM, McLaughlin MA. Effect of avian-human joint attention on allo-specific vocal learning by African grey parrots (*Psittacus erithacus*). *J Comp Psychol* 1996;110:286-297.
12. Green S. Dialects in Japanese monkeys: vocal learning and cultural transmission of locale-specific vocal behaviour? *Zeitschrift Fur Tierpsychologie* 1975;38:304-314.
13. Petersen MR, Beecher MD, Zoloth SR, Moody DB, Stebbins WC. Neural lateralization of species-specific vocalizations by Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Science* 1978;202:324-327.
14. Zoloth S, Green S. Monkey vocalizations and human speech: Parallel in perception? *Brain Behav Evol* 1979;16:430-442.
15. 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.
16. McCowan B, Reiss D. Whistle contour development in captive-born infant bottlenose dolphins: role of learning. *J Comp Psychol* 1995;109 (3):242-260.
17. 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.
18. Golubeva TB. A delay in the development of hearing and a shift in the leading afferentation in the early behavioral ontogeny of birds. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova* 1994;44:992-1003.
19. McCracken KG, Sheldon FH. Avian vocalizations and phylogenetic signal. *Proc Nat Acad Scie USA* 1997;94:3833-3836.
20. West MJ, King AP. Female visual displays affect the development of male song in the cowbird. *Nature* 1988;334:244-246.
21. Brittan-Powell EF, Dooling RJ, Farabugh SM. Vocal development in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): contact calls. *J Comp Psychol* 1997;111:226-241.
22. Clayton NS. El aprendizaje del canto en los pájaros. *Mundo Científico* 1990;11:636-644.
23. Elowson MA, Snowdon CT, Sweet CJ. Ontogeny of trill and J-call vocalizations in the pygmy marmoset, *Cebulea pygmaea*. *Anim Beh* 1992;43:703-715.
24. Esser KH. Audio-vocal learning in a non-human mammal: the lesser spear-nosed bat *Phyllostomus discolor*. *Neuro Report* 1994;5:1718-1720.
25. Hofer MA, Shair H. Ultrasonic vocalization during social interaction and isolation in 2-week-old rats. *Dev Psychobiol* 1978;11:495-504.
26. Robertoux PL, Martin B, Le Roy I, Beau J, Marchaland C, Pérez-Díaz F, Cohen-Salmon C, Carlier M. Vocalizations in newborn mice: genetic analysis, *Behav Genet* 1996;26:427-437.
27. Newman JD. Squirrel monkey communication. In: Rosenblum LA, Coe CL, editors. *Handbook of squirrel monkey research*. New York: Plenum Press; 1985.pp.99-126.
28. Poeggel G, Braum K. Early auditory filial learning in degus (*Octodon degus*): behavioral and autoradiographic studies. *Brain Res* 1996; 743:162-170.
29. Cherry JA. Ultrasonic vocalizations by male hamsters: parameters of calling and effects of playbacks on female behaviour. *Anim Behav* 1989;38:138-153.
30. Narins MP. Comunicación en las ranas. *Invest Ciencia* Oct 1995:66-71.
31. White NR, González RN, Barfield RJ. Do vocalizations of the male rat elicit calling from the female? *Behav Neural Biol* 1993;59:76-78.
32. Hofer MA, Shair H. Ultrasonic vocalizations, laryngeal braking and thermogenesis in rat pups: a reappraisal. *Behav Neurosci* 1993;107: 354-362.
33. Roberts LH. Evidence for the laryngeal source of ultrasonic and audible cries of rodents. *J Zool London* 1975;175:243-257.
34. West R, Larson CR. Laryngeal and respiratory activity during vocalization in macaque monkeys. *J Voice* 1993;7:54-68.
35. Maskarinec AS, Cairns GF Jr, Butterfield EC, Weamer DK. Longitudinal observations of individual infant's vocalizations. *J Speech Hear Disord* 1981;46:267-273.
36. Snashall SE. Deafness in children. *Bri J Hosp Med* 1985;33:205-209.
37. Wedell-Monning J, Lumley JM. Child deafness and mother-child interaction. *Child Dev* 1980;51:766-774.
38. Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Coulter DK, Mehl AL. Language of early-and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics* 1998;102:1161-1171.

39. Marler P, Waser MS. Role of auditory feedback in canary song development. *J Comp Physiol Psychol* 1997;91:8-16.
40. Nordeen KW, Nordeen EJ. Auditory feedback is necessary for the maintenance of stereotyped song in adult zebra finches. *Behav Neural Biol* 1992;57:58-66.
41. Welsh LW, Welsh JJ, Healy MP. Early sound deprivation and long-term hearing. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1996;105:877-881.
42. Hulcranz M, Snyder R, Rebscher S, Leake P. Effects of neonatal deafening and chronic intracochlear electrical stimulation on the cochlear nucleus in cats. *Hear Res* 1991;54:272-280.
43. Leake-Jones PA, Vivion MC, O'Reilly BF, Merzenich MM. Deaf animal models for studies of a multichannel cochlear prosthesis. *Hear Res* 1982;8:225-246.
44. Roman R, Ehrt G. Development of sound production in normal, isolated, and deafened kittens during the first postnatal months. *Dev Psychobiol* 1985;17:629-649.
45. Shipley C, Buchwald JS, Carterette EC. The role of auditory feedback in the vocalizations of cats. *Exp Brain Res* 1988;69:431-438.
46. Coste RL, Pfingst BE. Stimulus features affecting psychophysical detection. *J Acoust Soc Am* 1997;99:3099-3108.
47. Talmage-Riggs G, Winter P, Ploog D, Mayer W. Effect of deafening on the vocal behavior of the squirrel monkey (*Saimiri sciureus*). *Folia Primatol* 1973;17:404-420.
48. Ridgway SH, Carder DA. Hearing deficits measured in some *Tursiops truncatus*, and discovery of a deaf/mute dolphin. *J Acous Soc Am* 1997;101:590-594.
49. D'Amato FR, Populin R. Mother-offspring interaction and pup development in genetically deaf mice. *Behav Genet* 1988;17:465-475.
50. D'Amato FR. Infanticide by genetically deaf mice: possible evidence for and inhibiting function of pups ultrasonic calls. *Aggress Behav* 1988;13:25-28.
51. D'Amato FR. Different strategies in alloparental behavior for male and female mice. *Anim Behav* 1989;36:1553-1555.
52. Perier O, Alegria J, Buyse M, D'Alimonte G, Gilson D, Serniclaes W. Consequences of auditory deprivation in animals and humans. *Acta Otolaryngol Suppl (Stockh)* 1984;411:60-70.
53. Steel KP, Bock GR. The nature of inherited deafness in deafness mice. *Nature* 1980;288:159-161.
54. Truett GE, Brock JW, Lidl GM, Kloster CA. Stargazer (stg), new deafness mutant in the Zucker rat. *Lab Anim Sci* 1994;44:595-599.
55. Asarch R, Abramson M, Litton WB. Surgical anatomy of the guinea pig ear. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1975;84:250-255.
56. Gil-Carcedo LM, Martín MC, Carranza MA, Benito JL. Abordaje quirúrgico del oído medio del cobaya. *Acta Otorrinolaringol Esp* 1991;42:399-403.
57. Goksu N, Haziroglu R, Kemaloglu Y, Nalan K, Bayramoglu I, Akyildiz N. Anatomy of the guinea pig temporal bone. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1992;101:699-704.
58. Berryman J. Guinea pig vocalizations. *Guinea Pig Newslett No. 2*, 1970.
59. Herman BH, Panksepp J. Effects of morphine and naloxone on separation distress and approach attachment: evidence for opiate mediation of social affect. *Pharmacol Biochem Behav* 1978;9:213-220.
60. Hennessy MB. Both prevention of physical contact and removal of distal cues mediate cortisol and vocalization responses of guinea pig pups to maternal separation in a novel environment. *Physiol Behav* 1988;43:7239-7233.
61. Hennessy MB, Becker LA, O'Neil DR. Peripherally administered CRH suppresses the vocalizations of isolated guinea pig pups. *Physiol Behav* 1991;50:17-22.
62. Hennessy MB, Tamborski A, Schliml P. The influence of maternal separation on plasma concentrations of ACTH epinephrine and norepinephrine in guinea pig pups. *Physiol Behav* 1989;45:1147-1152.
63. Menescal de Oliveira L. Pain reaction after topical NA and lesion of the obex region in the alert guinea pig. *Physiol Behav* 1982;28: 413-416.
64. Tamborski HA, Moore H, Lucot JB, Hennessy MB. Monoamine activity in anterior hypothalamus of guinea pig pups separated from their mothers. *Behav Neurosci* 1994;108:171-176.
65. Famula TR, Oberbauer AM, Sousa CA. A threshold model analysis of deafness in dalmatians. *Mamm Genome* 1996;7:650-653.
66. Holliday TA, Nelson HJ, Williams DC, Willits N. Unilateral and bilateral brainstem auditory-evoked response abnormalities in 900 dalmatian dogs. *J Vet Intern Med* 1992;6:166-174.
67. Luttgen PJ. Deafness in the dog and cat. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1994;24:981-989.
68. Montes de Oca FE, Saúl A, Escalante UC, Poblano A, Lagunes R. El vitílio y la audición. *Anal Otorrinolaringol Mex* 1990;35:279-281.
69. Schrott A, Spoendlin H. Pigment anomaly associated inner ear deafness. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1987;103:451-457.
70. Strain GM, Kearney MT, Gingac II, Levesque DC, Nelson HJ, Tedford BC, Remsen LG. Brainstem auditory-evoked potential assessment of congenital deafness in dalmatians: associations with phenotypic markers. *J Vet Intern Med* 1992;6:175-182.
71. Arch-Tirado E, Morales MJ, Saltijeral OJ, Zarco de CI, Licona J. The guinea pig as a model for audiological research. *Anal Otorrinolaringol Mex* 1997;42:71-74.
72. Gil-Carcedo LM, Villalba J. El reflejo de Preyer en el cobayo normoyente. *Acta Otorrinolaringol Esp* 1989;40:25-27.
73. Arch-Tirado E, McCowan B, Saltijeral-Oaxaca J, Zarco de Coronado I, Licona-Bonilla J. Development of isolation-induced vocal behavior in normal hearing and deafened guinea pig infants. *J Speech Lang Hear Res* 2000 Apr;43(2):432-440.
74. Berryman J. Guinea-pig vocalizations: their structure, causation and function. *Zeitschrift Fur Tierpsychol* 1976;41:80-106.
75. Chris JC, Els A den Os, Koopmans-van Beinum FJ. The development of vocalizations of deaf and normally hearing infants. *Proceedings Inst Phonet Sci Univ Amsterdam* 1994;18:65-76.
76. Koitschev A, Waldmann B, Ptak M. Function and morphology of the larynx of the domestic guinea pig. An animal model for laryngologic and phoniatric research? *HNO* 1995;43:432-438.