



Palabras Clave: Cicádidos, emulación, sistemas pulsados

Key words: Cicadas, simulation, pulsed systems

Emulaciones numéricas de distintos cantos de Cicádidos

Cecilia L. De Santis^{1*}, Raúl Urteaga² y Pablo G. Bolcato¹

1 Facultad de Ingeniería Química y Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL. Santiago del Estero 2829, (3000) Santa Fe, Argentina. Te.: (0342) 4571164.

E-mail: pbolcato@fiq.unl.edu.ar

2 Laboratorio de cavitación y biotecnología. Centro Atómico Bariloche. Avenida Bustillo km 9,5 (8400) Río Negro, Argentina.

RESUMEN

Los cicádidos (Orden Hemiptera, Familia Cicadidae), son insectos que emiten sonidos específicos. Sólo los machos pueden hacerlo merced a órganos modificados para tal función. La explicación actual sobre su producción, que asume al abdomen del insecto como un resonador Helmholtz con una única frecuencia característica, no se verifica para las especies locales y entonces es necesario buscar nuevos argumentos que expliquen la forma en la que el sonido es generado y emitido. En este trabajo mostramos que usando un modelo de oscilador armónico pulsado por distintas fuerzas externas es posible conseguir comportamientos oscilatorios complejos que emulan los cantos de llamada de *Proarna dactyliophora*, *Doristiana drewseni*, *Guyalna bonaerensis* y *Quesada gigas*. Los valores de frecuencias adoptados para las emulaciones fueron extraídos de los oscilogramas y espectros de frecuencias de las grabaciones de los cantos de llamada y de estrés realizadas en el campo. Los resultados emergentes del cálculo numérico permiten soportar la idea de que el mecanismo de producción de sonido de los cicádidos se basa en un ajustado acople entre sistemas vibrantes y pulsantes que en este caso podrían asociarse al ala, el timbal y el abdomen de estos insectos.

ABSTRACT

Numerical simulation of different Cicadas songs

The cicadas (Order Hemiptera, Family Cicadidae) are insects that emit songs characteristic of each species to communicate. Males of cicadas have modified organs to produce sounds in order to attract conspecific females and to prevent predators. The standard explanation on the sound production is not verified for the local species, therefore is necessary to look for new arguments. In this work we show how it is possible to get complex oscillatory behaviors from the interaction of simple mechanical systems. In particular we simulate the calling songs of Proarna dactyliophora, Doristiana drewseni, Guyalna bonaerensis and Quesada gigas using a pulsed harmonic oscillator model. The numerical values for the frequencies in the simulation were extracted from real oscillograms and Fourier spectra. The numerical results support the idea that the sound production mechanism in cicadas is based on a coupling between vibrating and pulsed systems, which in this case could be associated to the wings, the tymbal and the abdomen of these insects.



INTRODUCCION

Las chicharras son insectos que emiten sonidos específicos para cada especie (Ruppert y Barnes, 1997), siendo el macho el único apto para emitir sonidos (Klots y Klots 1960) mediante un par de órganos llamados tímbrales, situados a cada lado del abdomen (Young y Bennet-Clark 1995) consistentes de una membrana en contacto con un músculo que se contrae alternadamente a frecuencias de hasta 224 Hz. (Young y Josephson, 1983). Además, ambos sexos poseen un par de tímpanos, debajo de cada tímbral, conectados al órgano auditivo por un corto tendón (Henning *et al.*, 1993). Las especies tienen diversas maneras de modificar o amplificar el sonido (Monteith, 2000); por medio de opérculos (Henning *et al.*, 1993). Las mediciones del volumen del saco abdominal y del área del tímpano son compatibles con la sugerencia de que el conjunto abdomen/tímpano/opérculo funciona como un resonador de Helmholtz que magnifica la intensidad de la frecuencia típica de vibración del abdomen (Bennet-Clark y Young 1992). A su vez, esta asociación contiene implícitamente una relación alométrica entre la frecuencia del sonido y la longitud del insecto (Bennet-Clark y Young, 1994) que no se verifica para las especies locales (De Santis, 2003). Por lo tanto, es necesario buscar nuevos argumentos que expliquen los mecanismos de producción de sonido de estos insectos.

Según observaciones propias, cuando el macho canta se puede notar que las alas se mueven por estimulación de algún otro órgano o parte del cuerpo del insecto. Por esta razón es posible hipotetizar que este sistema físico puede interpretarse como una membrana (el ala) vibrante estimulada por algún agente exterior que en este caso podría tratarse de la membrana tímbral; es decir, que el insecto se comportaría como un oscilador armónico forzado. Para verificar esta hipótesis particular, se mostrará cómo es posible reproducir a través de emulaciones numéricas el movimiento de un oscilador forzado por agentes externos, las características principales de los cantos de llamada de las especies *Proarna dactylophora* (Berg), *Dorisiana drewseni* (Stål), *Guyalna bonaerensis* (Berg) y *Quesada gigas* (Olivier). En este trabajo se trata de emular, en condiciones simplificadas, los comportamientos prototípicos de sistemas físicos, que pueden entrar en resonancia.

MATERIAL Y METODOS

Se trabajó con los registros del sonido típico de distintas especies de cigarras con grabadores de cinta magnética dotados de micrófonos piezoeléctricos. Las grabaciones del canto de llamada y canto de estrés fueron hechas *in situ*. El trabajo de campo se llevó a cabo en la ciudad de Santa Fe, entre diciembre de 2002 y marzo de 2003.

Se estudiaron cuatro especies: *Proarna dactylophora*, *Dorisiana drewseni*, *Guyalna bonaerensis* y *Quesada gigas*, seleccionándose fragmentos de sonidos del total de grabaciones, que se convirtieron del formato original analógico al digital, con una discretización de 22050 datos por cada segundo, utilizando un programa estándar de procesamiento de señales sonoras (Goldwave v4.26, shareware). Lo que se obtiene es un oscilograma. Luego se realizó el análisis del espectro de frecuencias presentes o análisis de Fourier con el fin de conocer cuáles son las frecuencias predominantes en un sonido dado. Tanto el oscilograma como el análisis de Fourier son las características del canto que van a ser emuladas.

Si nos remitimos al modelo teórico, la característica en común que tienen los osciladores armónicos amortiguados, es que están sometidos a dos fuerzas principales que determinan sus propiedades dinámicas: una restitutiva (F_r) con sentido hacia el punto de equilibrio y una segunda fuerza (F_d) con la misma dirección y sentido opuesto al movimiento y de magnitud generalmente proporcional a la velocidad del sistema en estudio (Gettys *et al.*, 1991). Esta última es responsable de que el sistema disipe energía (fuerza de viscosidad, rozamiento, etc.) y consecuentemente su movimiento oscilante se amortigüe. Si denominamos m a la masa del sistema, k a la constante elástica restitutiva y λ al factor de amortiguamiento, la ecuación que determina la evolución temporal de la coordenada principal de movimiento x del sistema es:

$$F_r - F_d = -kx - \lambda \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$



Definiendo

$$y = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{m}} x \quad (1)$$

la ecuación precedente se puede reescribir del siguiente modo:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1)$$

En este caso, la frecuencia propia del oscilador amortiguado viene dada por ω_0^2 (Gettys et al., 1991).

En una primera aproximación la ecuación (1) podría aplicarse al movimiento de algún punto del ala anterior aislada, ya que las soluciones armónicas de los modos de vibración de una membrana pueden asociarse a los de un oscilador simple en dos dimensiones (Fletcher y Rossing, 1998). Pero como en realidad la misma es excitada por el timbal, se deben agregar a esta ecuación las fuerzas específicas de pulsado exterior, en principio asociadas al movimiento del músculo $[f_m(t)]$ y a las vibraciones de las costillas del timbal $[f_{ri}(t), f_{ra}(t), \dots]$.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_m(t) + f_{r1}(t) + f_{r2}(t) \quad (2)$$

De este modo, se obtiene una ecuación de movimiento para un oscilador amortiguado y excitado por más de una fuerza exterior. Como es sabido, este tipo de sistemas físicos puede entrar en resonancia, es decir, puede magnificar la amplitud de la oscilación cuando la frecuencia de la pulsación externa es similar a la del oscilador original; pero debido a que en la ecuación (2) hay más de una fuerza externa, las posibilidades de resonancia son mayores y sus resultados no son fácilmente predecibles. Las fuerzas externas específicas se asumen como una sucesión de picos gaussianos que tienen la siguiente dependencia temporal:

$$f_p(t) = A_p \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-t_p}{\tau_p}\right)^2\right\} \cos\left\{2\pi f_p(t-t_p)\right\}$$

donde $p = m, r_1, r_2$; ω_0 es la frecuencia de pulsado, γ es el ancho del pulso y A_p su intensidad. Esta elección sobre la forma funcional de la fuerza de pulsado (sucesión de picos gaussianos) no modifica sustancialmente los resultados de las emulaciones. Los valores de frecuencias usados en el cálculo computacional para el oscilador original se corresponden con los del pico principal de los espectros de Fourier reales de cada especie. La frecuencia de pulsado asociada a la contracción del músculo timbal (\dot{y}_m) adoptada para la emulación, se extrajo calculando la separación media entre los picos del espectro de Fourier real. Finalmente las frecuencias vinculadas con el movimiento de la membrana timbal y sus costillas ($\dot{y}_{ri}, \dot{y}_{ra}$) se tomaron de los picos principales del canto de estrés grabado para este fin.

La resolución numérica de la ecuación (2) fue llevada a cabo utilizando un código de cálculo de desarrollo propio, realizado en lenguaje de programación de alto nivel (SCILAB 4.0)

RESULTADOS

Las posibles soluciones de la ecuación (2) y su aplicación a los casos concretos de los registros obtenidos, se aprecian en las Figs. 1 a 8.

En cada caso, se pretendieron emular comportamientos semejantes a los oscilogramas de los cantos típicos de llamada de *P. dactylophora* (Fig. 1 y 2), *D. drewseni* (Fig. 3 y 4), *G. bonaerensis* (Fig. 5 y 6) y *Q. gigas* (Fig. 7 y 8).

El oscilograma real del canto de llamada de *P. dactylophora* presenta una emisión sostenida en el tiempo y de volumen aproximadamente constante compuesta de una sucesión de pulsaciones separadas cada 75 ms (Fig. 1, panel izquierdo). A su vez, el correspondiente espectro Fourier muestra una sucesión de picos separados por una frecuencia regular de 138 Hz, lo cual es compatible con el pulsado del oscilograma (Fig. 2, panel izquierdo). La envolvente ancha del espectro de frecuencias centrada en 1000 Hz sugiere que el resonador es de baja calidad (Q grande). Estas características descriptas para el canto real se ven satisfactoriamente reflejadas en los resultados de las emulaciones numéricas calculadas (Figs. 1 y 2, paneles de la derecha).

Tanto en estas dos figuras como en las subsiguientes, la amplitud del sonido emitido (que es proporcional al volumen) e intensidad de las frecuencias presentes, están expresadas en unidades arbitrarias, ya que los valores absolutos de estas magnitudes no son

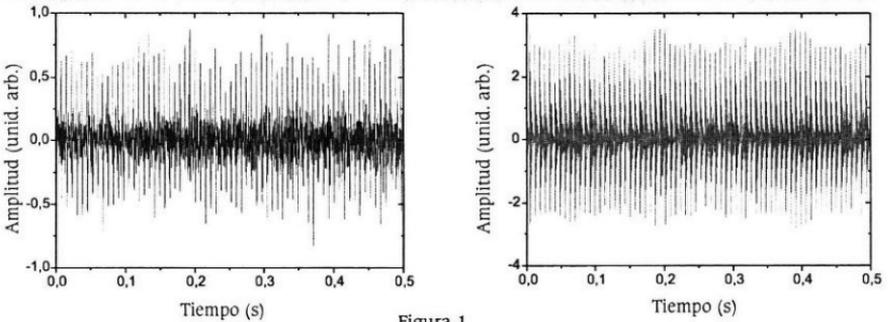


Figura 1

Izquierda: Oscilograma del canto de llamada de *Proarna dactylophora*, obtenido a partir de la digitalización de la grabación de dicho canto. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del oscilograma del canto de llamada de *P. dactylophora*. Los valores adoptados en el cálculo fueron: $f_s = 1000$ Hz, $f_m = 37$ Hz, $f_n = 680$ Hz, $f_a = 8000$ Hz, $f_r = 450$ Hz, $\beta = 0.005$, $\gamma = 10^\circ$.

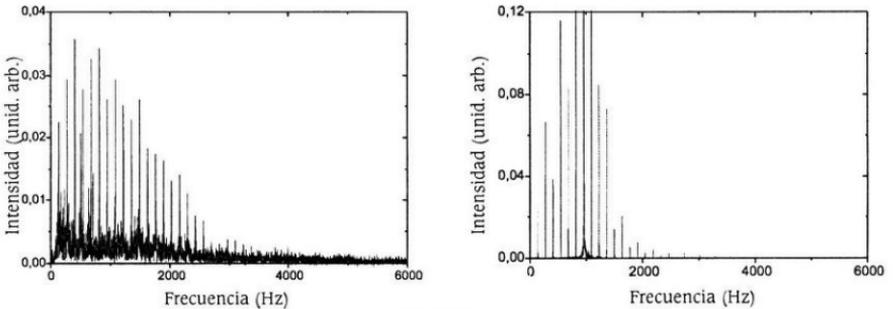


Figura 2

Izquierda: Análisis de Fourier del canto de llamada de *Proarna dactylophora*. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del Análisis de Fourier del canto de llamada de *P. dactylophora*. Rango de frecuencias considerado en la transformada de Fourier: 0-16384 Hz.

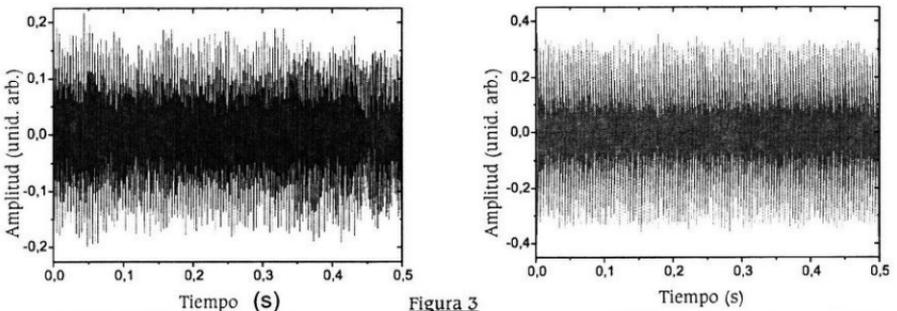


Figura 3

Izquierda: Oscilograma del canto de llamada de *Dorisiana drewseni*, obtenido a partir de la digitalización de la grabación de dicho canto. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del oscilograma del canto de llamada de *D. drewseni*. Los valores adoptados en el cálculo fueron: $f_s = 600$ Hz, $f_m = 250$ Hz, $f_n = 3800$ Hz, $f_a = 5500$ Hz, $f_r = 450$ Hz, $\beta = 0.005$, $\gamma = 10^\circ$.

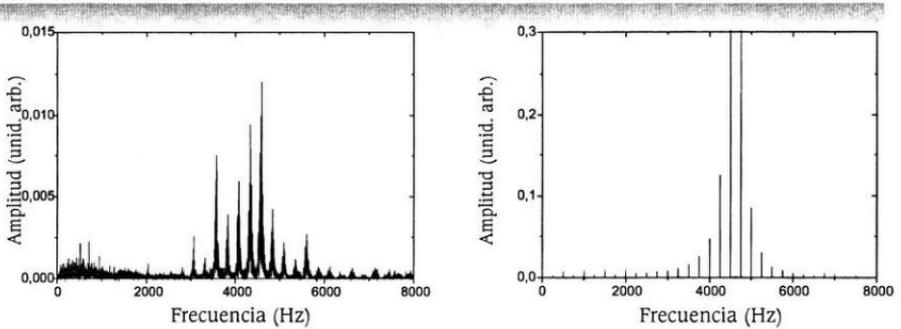


Figura 4

Izquierda: Análisis de Fourier del canto de llamada de *Dorisiana drewseni*. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del Análisis de Fourier del canto de llamada de *D. drewseni*. Rango de frecuencias considerado en la transformada de Fourier: 0-16384 Hz.

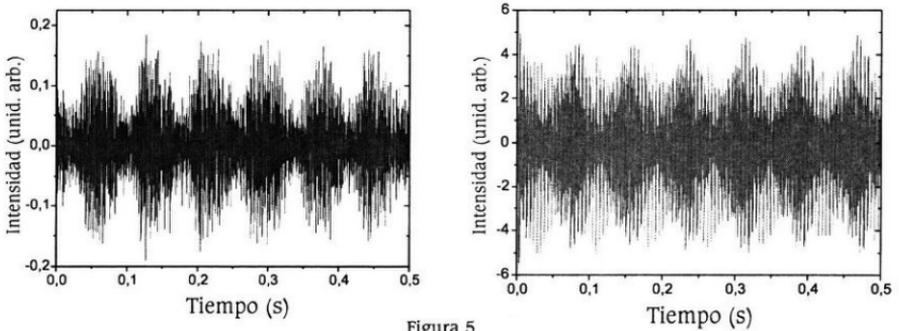


Figura 5

Izquierda: Oscilograma del canto de llamada de *Guyalna bonaerensis*, obtenido a partir de la digitalización de la grabación de dicho canto. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del oscilograma del canto de llamada de *G. bonaerensis*. Los valores adoptados en el cálculo fueron: $\beta = 245$ Hz, $\gamma = 196,3$ Hz, $\delta = 2970$ Hz, $\epsilon = 3350$ Hz, $\zeta = 300$ Hz, $\eta = 0,05$, $\theta = 10^\circ$.

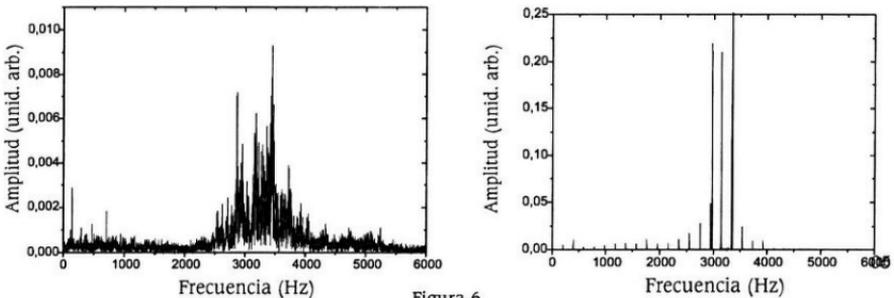


Figura 6

Izquierda: Análisis de Fourier del canto de llamada de *Guyalna bonaerensis*. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del Análisis de Fourier del canto de llamada de *G. bonaerensis*. Rango de frecuencias considerado en la transformada de Fourier: 0-8192 Hz.

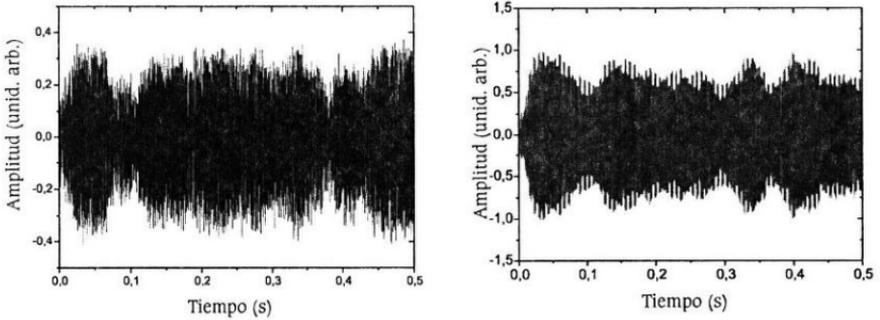


Figura 7

Izquierda: Oscilograma del canto de llamada de *Quesada gigas*, obtenido a partir de la digitalización de la grabación de dicho canto. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del oscilograma del canto de llamada de *Q. gigas*. Los valores adoptados en el cálculo fueron: $f_s = 355 \text{ Hz}$, $f_m = 300 \text{ Hz}$, $f_c = 1365 \text{ Hz}$, $f_a = 2700 \text{ Hz}$, $f_r = 30 \text{ Hz}$, $\beta = 0.05$, $\gamma = 10^\circ$.

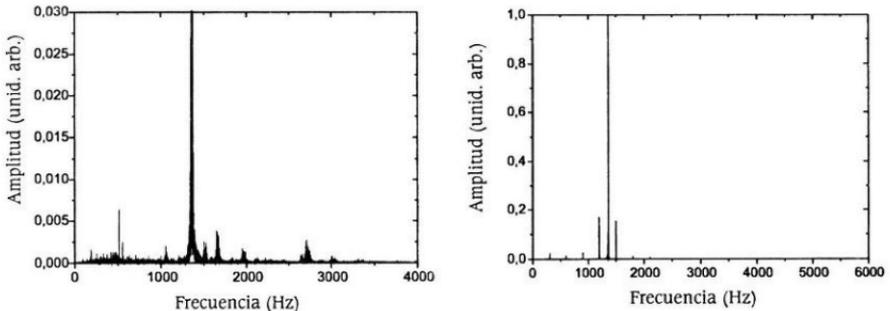


Figura 8

Izquierda: Análisis de Fourier del canto de llamada de *Quesada gigas*, obtenido a partir de la grabación de dicho canto. Derecha: Resultados numéricos de la emulación del Análisis de Fourier del canto de llamada de *Q. gigas*. Rango de frecuencias considerado en la transformada de Fourier: 0-4096 Hz.

Cuadro 1

Especies de cicádidos	Frecuencias según modelo estándar	Frecuencias reales
<i>Proarna dacyliophora</i>	12,8 kHz	1 kHz
<i>Dorisiana drewsenti</i>	8,8 kHz	4,6 kHz
<i>Guyalna bonaerensis</i>	5,4 kHz	3,2 kHz
<i>Quesada gigas</i>	4,4 kHz	1,3 kHz



relevantes para definir las propiedades del canto que pretenden ser emuladas.

El oscilograma de la parte sostenida del canto de llamada de *D. drewseni* presenta, de manera semejante a *P. dactylophora*, una emisión de volumen aproximadamente constante con un pulsado con período menor que la especie anterior (Fig. 3, panel izquierdo). El espectro de frecuencias consiste de una sucesión de picos separados por unos 250 Hz que definen una envolvente centrada en 4500 Hz aproximadamente (Fig. 4). También en este caso fue posible emular apropiadamente las características principales del canto de esta especie, utilizando los valores de frecuencias de pulsado obtenidas de los espectros reales (Figs. 3 y 4, paneles de la derecha). El grupo de picos que se presenta en el espectro Fourier del registro grabado a frecuencias menores a 1000 Hz, es producto del ruido ambiente existente en el momento de la grabación y, por lo tanto, no se corresponde con ninguna característica taxonómica del canto de esta especie susceptible de ser emulada.

El canto de llamada de *G. bonaerensis* suena como una especie de cascabeleo de muy alta intensidad. El oscilograma real de esta especie, que se incluye en el panel izquierdo de la Fig. 5, presenta una notoria modulación de amplitud, que hasta podría ser considerada como una sucesión de pulsos emitidos con lapsos de silencio casi imperceptibles. A pesar de que nuestro modelo no tiene en cuenta estas posibles interrupciones, la modulación en el volumen de emisión pudo ser reproducida correctamente disminuyendo el ancho de la fuerza de pulsado en la emulación (Fig. 5, panel de la derecha). Los espectros Fourier real y emulado (Fig. 6, paneles a la izquierda y derecha, respectivamente) manifiestan que esta especie tiene en su canto de llamada frecuencias más significativas en el rango 2500-4000Hz. En este caso y debido a las características más complejas del oscilograma, no se alcanza a apreciar claramente la definición de una curva envolvente ancha sobre picos finos con frecuencias a intervalos regulares como en las dos especies anteriores.

Q. gigas es la especie más conspicua y poseedora del canto menos ruidoso y semejante a un sonido musical. En rigor, su llamada consta de una primera fase compuesta por una sucesión de emisiones cortas, con intervalos de silencio, hasta que, finalmente, se desarrolla una emisión sostenida que se asemeja al sonido de un silbato (Perri, 2004, De Santis, 2003). Se aprecia en la Fig. 7, panel izquierdo, sólo la parte sostenida del canto de llamada, donde se verifica que esta especie emite un sonido sin interrupciones. La emulación correspondiente (Fig. 7, panel derecho) reproduce muy bien la evolución temporal de este canto. Consecuentemente con esta descripción, el

espectro Fourier se compone de una frecuencia muy predominante sobre el resto de las que conforman la parte sostenida del canto de llamada (Fig. 8, panel izquierdo), lo cual indica un resonador de buena calidad (Q pequeño). El grupo de frecuencias que se observa a frecuencias menores a 700 Hz corresponde a ruido ambiental presente en la grabación. En este caso, la emulación reproduce bien las características principales del rango de frecuencias que define el sonido (1000-1500 Hz), aunque no es capaz de dar cuenta de otros picos menores que el espectro real tiene en 2000 y 2800 Hz, aproximadamente.

DISCUSION

La explicación estándar sobre la producción de sonido en cicádidos se basa en identificar el abdomen de los machos, que está esencialmente vacío, como un gran resonador que es estimulado por el vibrar de la membrana timbal, producto de contracciones de un gran músculo solidario a ella (Bennet-Clark y Young,

1992, Young y Bennet-Clark, 1995). Esta membrana quitinosa, a su vez, posee una serie de costillas que también oscilan a sus frecuencias propias cuando el timbal se mueve (Bennet-Clark, 1997). Visto de este modo, el insecto se comportaría como un resonador de Helmholtz con una única frecuencia principal y la complejidad del espectro Fourier vendría dada sólo por el batido propio de las contracciones regulares del músculo timbal y por las vibraciones subsiguientes de las costillas de la membrana timbal. Basados en esta explicación, Bennet-Clark y Young (1994) encuentran una ley de escala que relaciona la morfometría del animal y el canto de llamada estableciendo que $f \sim L^{-1}$, donde f es la frecuencia predominante del canto y L es la longitud del cuerpo del cicádido. Sin embargo, esta asociación entre el saco aéreo abdominal y el resonador de Helmholtz no es suficiente para explicar las características particulares del canto de las especies locales, ni tampoco lo es para estimar la frecuencia principal del oscilador. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se puede observar claramente que los valores predichos por la ley de escala propuesta por Bennet-Clark y Young (1994), no concuerdan con las frecuencias predominantes del canto de llamada de las especies locales.

La hipótesis planteada para este estudio sobre la producción del sonido en cicádidos, es que no sólo el



abdomen y el timbal funcionando como un resonador de Helmholtz son los responsables de las características de la emisión, sino que otras partes del insecto, como por ejemplo el ala, también participan en interacción con las anteriores en el momento del canto (De Santis, 2003, De Santis *et al.*, 2006). Los resultados expuestos aquí aportan argumentos que sostienen esta hipótesis general, aunque su confirmación no puede ser resuelta en un sólo trabajo y requiere de otros estudios y elementos de análisis que completen la explicación propuesta. El modelo planteado de sistemas mecánicos oscilantes acoplados de modo tal que diferentes fuerzas de pulsado estimulan a un oscilador principal, que posee una frecuencia propia, dio respuestas satisfactorias para las cuatro especies estudiadas. Como el canto de estrés fue registrado con el animal tomado con la mano y con sus alas retiradas hacia un costado, los valores obtenidos sólo pueden adjudicarse a características intrínsecas del conjunto abdomen/timbal. En todos los ejemplos uno de los valores siempre es menor a 300 Hz, lo cual es compatible con la velocidad de las contracciones del músculo que mueve a la membrana timbal. Los otros dos valores, en general, son uno mayor y otro menor a la frecuencia del oscilador principal y podrían ser adjudicados a las vibraciones de las costillas. Finalmente, el valor de la frecuencia propia del oscilador principal se extrajo del espectro Fourier del registro grabado del canto de llamada de cada especie. En *P. dactylophora*, *D. drewseni* y *G. bonaerensis* este valor es claramente diferente a los de las frecuencias de pulsado y, por lo tanto, es posible pensar que no se corresponde con ninguna de las propiedades del conjunto abdomen/timbal. En el caso de *Q. gigas*, sin embargo, existe una notable similitud entre el valor principal adoptado para la emulación y una de las fuerzas externas, lo cual sugiere que se presenta una situación de resonancia más acentuada. Esta conclusión es coincidente con estudios experimentales orientados a obtener evidencia sobre la interacción entre los modos normales de vibración del ala anterior de esta especie y el conjunto abdomen/timbal (De Santis *et al.*, 2006).

Debido a que las emulaciones fueron realizadas utilizando siempre el mismo modelo sencillo y en atención a que los registros de los cantos de llamada marcaban claras diferencias cualitativas, es posible afirmar que los resultados numéricos, son lo suficientemente robustos como para sustentar la idea de que efectivamente el sonido emitido por las cigarras es producto de la excitación del músculo y membrana timbal sobre otro sistema mecánico. Si bien éste podría ser el abdomen actuando como un

resonador de Helmholtz, los valores adoptados como frecuencia predominante del oscilador principal son los que surgen de los espectros reales, los cuales, como ya fue reseñado, no se condicionan con aquellos de las especies locales siguiendo leyes alométricas. Por lo tanto, debe pensarse que otros órganos también están formando parte del mecanismo de producción de sonido, como es el caso de *Q. gigas* donde ya fue documentada la participación de las alas en el momento de la emisión del sonido (De Santis *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Las soluciones de la ecuación que describe un oscilador armónico, amortiguado y forzado por agentes externos, pueden ser cualitativamente muy diversas según sea el grupo de parámetros elegidos. Se pudo verificar que el modelo representado por esta única ecuación emula satisfactoriamente los oscilogramas y espectros Fourier de las cuatro especies de cicádidos consideradas (*P. dactylophora*, *D. drewseni*, *G. bonaerensis* y *Q. gigas*) en tanto los resultados numéricos obtenidos son en general muy similares a los oscilogramas y espectro de frecuencias de los registros grabados reales. Por lo tanto, es posible sustentar la idea de que otros órganos de estos insectos podrían participar en el mecanismo de producción de sonido en conjunto con el sistema abdomen/tímpano/opérculo.

REFERENCIAS

- Bennet-Clark, H., & D.Young. 1992. A model of the mechanism of sound production in cicadas. *J exp. Biol.* 173: 123-153.
- Bennet-Clark, H., & D.Young. 1994. The scaling of song frequency in cicadas. *J exp. Biol.* 191: 291-294.
- Bennet-Clark, H. C. 1997. Tymbral mechanisms and the control of song frequency in the cicada *Cyclochila australasiae*. *J exp. Biol.* 200: 1681-1694.
- De Santis, C. L. 2003. Caracterización del canto y determinación de los mecanismos de producción del sonido en especies de



- cicádidos (Homoptera, Cicadidae) presentes en la ciudad de Sante Fe, Argentina. *Tesina de Licenciatura. Facultad de Humanidades y Ciencias. UNL.*
- De Santis, C. L., R. Urteaga and P. G. Bolcatto. 2006. Cicadas's wings as determinant factor for the sound emission: The case of *Quesada gigas*. arXiv:q-bio.OT/0608011.
- Fletcher N. H. and Rossing T. D. 1998. The Physics of Musical Instruments. *Springer-Verlag*, New York, Berlin, Heidelberg, 745 pp.
- Gettys, W., Keller, F. y Skove, M. 1991. Física Clásica y Moderna. *Mc Graw-Hill*, Madrid. 1241 p.
- Henning, R., T. Weber, T. Moore, F. Huber, H. Kleindienst and A. Popov. 1993. Function of the tensor muscle in the cicada *Tibicen linnei*. *J. exp. Biol.* 187: 33-44.
- Klots, A. y E. Klots. 1960. Los Insectos. *Seix Barral*, Barcelona, 78-79, 336 p.
- Monteith, G. 2000. Insect 06 Cicadas -our Summer Singers. *Queensland Museum*, 2pp.
- Perri, A. 2004. Propiedades acústicas del canto individual y colectivo de *Quesada gigas* (Olivier 1790) (Homoptera, Cicadidae). *Tesina de Licenciatura. Facultad de Humanidades y Ciencias. UNL.* Santa Fe Argentina. 34p.
- Ruppert, E. y R. Barnes. 1997. Zoología de invertebrados. *Mc. Graw-Hill*, México, I. 854p.
- Young, D. & H. Bennet-Clark. 1995. The role of the tymbal in cicada sound production. *J. exp. Biol.* 198: 1001-1019.
- Young, D. & R. Josephson. 1983. Mechanisms of sound-production and muscle contraction kinetics in cicadas. *J. Comp. Physiol.* 152: 183-195.

Recibido/Received: 22 de Junio 2005

Aceptado/Accepted: 20 Agosto 2007
