

CONTROL ACTIVO GLOBAL MULTICANAL DEL RUIDO DE BAJA FRECUENCIA EN RECINTOS

REFERENCIA PACS: 43.50.Ki

T. Bravo y P. Cobo
Instituto de Acústica. CSIC.
Serrano 144.
28006 Madrid.

SUMMARY

In this work, an Active Noise Control system has been implemented in a slightly damped room harmonically excited. We are interested in the reduction of the sound pressure level over the whole enclosure, global control, so we have to consider the modal overlapping in order to discriminate between diffuse and modal field. The sum of the square pressure levels at the discrete sensor positions has been reduced using the Filtered-X LMS algorithm. Important reductions can be obtained when the secondary sources are far away from the primary source, but the best results are achieved when the secondary sources are closed to the primary one.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se ha realizado una verificación experimental de las posibilidades de las técnicas de Control Activo del Ruido (CAR) en recintos. Concretamente, en un recinto paralelepípedo de dimensiones 6.81m X 5.23m X 3.38 m, ligeramente amortiguado y excitado armónicamente. Debido a que la forma del recinto se adapta perfectamente a coordenadas cartesianas y trabajamos en un margen de bajas frecuencias, la ecuación de ondas es exactamente resoluble y podemos expresar la solución utilizando teoría de modos normales sin necesidad de recurrir a procedimientos numéricos más complicados. Para medir la respuesta global del recinto se utiliza la energía potencial acústica medida en un número discreto de sensores de error, minimizándose el cuadrado de la presión en esas posiciones mediante un sistema comercial que implementa el algoritmo FX-LMS.

Las aplicaciones prácticas de las técnicas CAR en recintos van dirigidas esencialmente al control del ruido de baja frecuencia en las cabinas de los aviones y en el interior de los vehículos, para el control del booming del habitáculo. En estos problemas es imposible aplicar técnicas de control pasivo sin aumentar de forma considerable el peso, y por tanto, el consumo. En ambos casos existen numerosos trabajos realizados con éxito [1,2].

RECINTOS DE BAJA DENSIDAD MODAL

Para llevar a la práctica un sistema CAR en un recinto es necesario conocer los modos propios presentes, dependientes de la geometría, y las correspondientes frecuencias propias asociadas. Cuando estamos trabajando a una frecuencia cercana o coincidente con una frecuencia propia de un modo normal, la respuesta del recinto estará dominada fundamentalmente por ese modo y será proporcional a su resonancia, mientras que a frecuencias no coincidentes con ninguna de resonancia, la respuesta acústica no estará dominada por ningún modo en particular, sino que será una suma de contribuciones provenientes de una serie de modos residuales [3].



Estos modos residuales permanecerán inalterados al aplicar las técnicas de control, consiguiéndose reducciones en las contribuciones modales. En la Tabla 1 se muestran las frecuencias propias de un recinto con las dimensiones bajo estudio por debajo de 100 Hz.

TABLA 1. Indices modales y frecuencia propias correspondientes para un recinto de dimensiones 6.81m X 5.23m X 3.38 m por debajo de 100 Hz

| nx | ny | nz | f |
|----|----|----|--------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 24.96 |
| 0 | 1 | 0 | 32.50 |
| 1 | 1 | 0 | 40.98 |
| 2 | 0 | 0 | 49.92 |
| 0 | 0 | 1 | 50.29 |
| 1 | 0 | 1 | 56.152 |
| 2 | 1 | 0 | 59.57 |
| 0 | 1 | 1 | 59.88 |
| 1 | 1 | 1 | 64.87 |
| 0 | 2 | 0 | 65.00 |
| 1 | 2 | 0 | 69.63 |
| 2 | 0 | 1 | 70.86 |
| 2 | 1 | 1 | 77.96 |
| 2 | 2 | 0 | 81.96 |
| 0 | 2 | 1 | 82.19 |
| 1 | 2 | 1 | 85.90 |
| 2 | 2 | 1 | 96.16 |
| 0 | 3 | 0 | 97.51 |

Para evaluar hasta dónde serán efectivas las técnicas CAR debemos considerar el solapamiento modal del recinto, que nos indica el número aproximado de modos en una banda de frecuencias que contribuyen de forma importante a la respuesta del recinto. Según Schroeder, para que el campo acústico pueda considerarse como difuso, los modos normales en el recinto deben solaparse al menos en una relación 3:1 [4]. En la Figura 1 se muestra el solapamiento modal para el recinto con el que estamos trabajando.



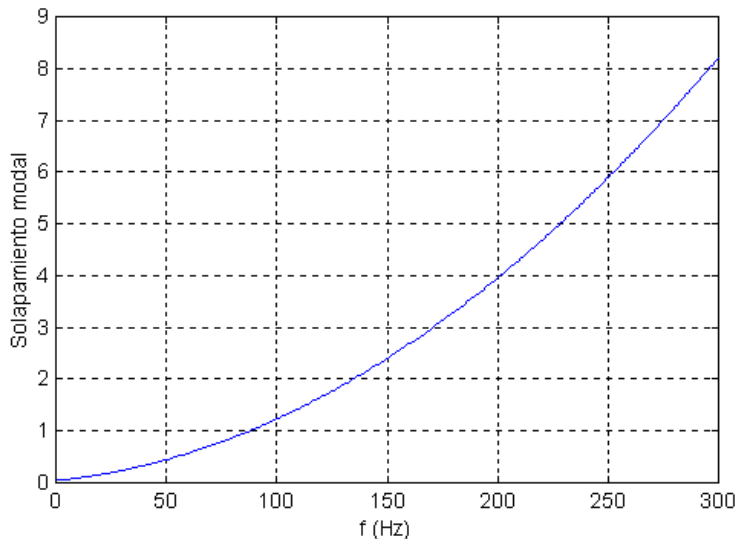


FIGURA 1. Solapamiento modal para un recinto de dimensiones 6.81m X 5.23m X 3.38 m
 En todas las medidas realizadas encaminadas al control global del ruido armónico en el recinto, nos hemos restringido al margen de frecuencias en el que el solapamiento modal es menor que tres.

RESULTADOS

Los experimentos realizados han ido encaminados a comparar los resultados de cancelación obtenidos cuando colocamos las fuentes secundarias cercanas y alejadas de la fuente primaria. En contra de lo que sucede en campo libre, cuando estamos trabajando en recintos no es necesario que las fuentes secundarias estén muy cerca de la fuente primaria para obtener resultados de cancelación significativos [5]. El sistema CAR implementado es un sistema de control feedforward que consta de un altavoz excitado armónicamente que actúa como fuente primaria, seis sensores de error y seis fuentes secundarias o cuatro, dependiendo de la configuración particular. Las posiciones de los componentes del sistema CAR se muestran en la Tablas 2 y 3. Estas posiciones se han elegido de acuerdo al criterio de evitar líneas nodales en los modos que se pretende controlar, tanto en las fuentes de control como en los micrófonos de error.

TABLA 2. Coordenadas de la fuente primaria y de las seis fuentes de control

| FUENTES | COORDENADAS |
|--------------|-----------------|
| Primaria | (0.1, 2.6, 1.2) |
| Secundaria 1 | (0.1, 2.5, 1.2) |
| Secundaria 2 | (0.1, 2.7, 1.2) |
| Secundaria 3 | (0.1, 0.1, 0.1) |
| Secundaria 4 | (0.1, 5.1, 0.1) |
| Secundaria 5 | (6.7, 0.1, 0.1) |
| Secundaria 6 | (6.7, 5.1, 0.1) |

TABLA 3. Coordenadas de los seis sensores de error

| SENSORES | COORDENADAS |
|----------|-------------|
| Sensor 1 | (0, 0, 0) |

| | |
|----------|-----------------|
| Sensor 2 | (0, 5.23, 0) |
| Sensor 3 | (3.4, 0, 0) |
| Sensor 4 | (3.4, 5.23, 0) |
| Sensor 5 | (6.81, 0, 0) |
| Sensor 6 | (6.71, 5.23, 0) |

De las numerosas pruebas que se realizaron, se van a mostrar aquí solamente dos. En la primera, se utilizaron las cuatro últimas fuentes de la tabla, situadas en las esquinas del recinto, para controlar el campo producido por la fuente primaria. Esta fuente era excitada armónicamente con la señal de referencia que se muestra en la Figura 2, correspondiente a la frecuencia de resonancia asociada al modo normal (2, 0, 2).

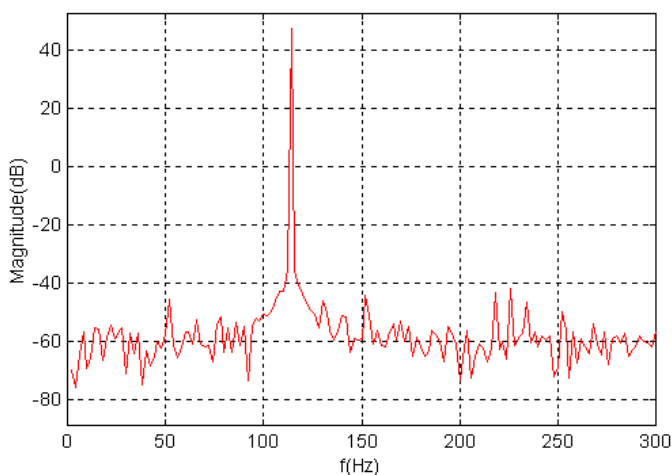


FIGURA 2. Señal de referencia eléctrica que alimentaba al altavoz actuando como fuente primaria

Los resultados de la cancelación medidos en los seis micrófonos de error, junto con la respuesta eléctrica de los cuatro actuadores se muestran respectivamente en las Figuras 3 y 4.



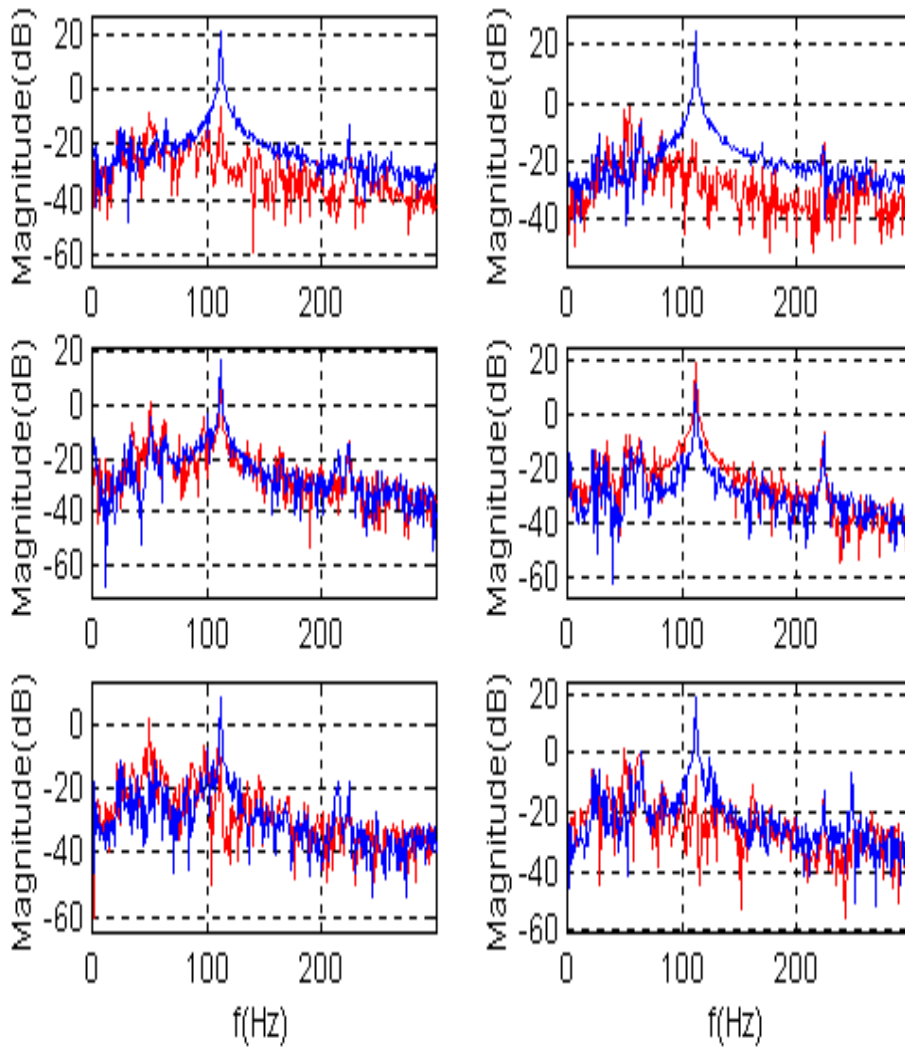


FIGURA 3. Nivel de presión sonora obtenido en los seis sensores de error con el sistema CAR desconectado (azul) y conectado (rojo)



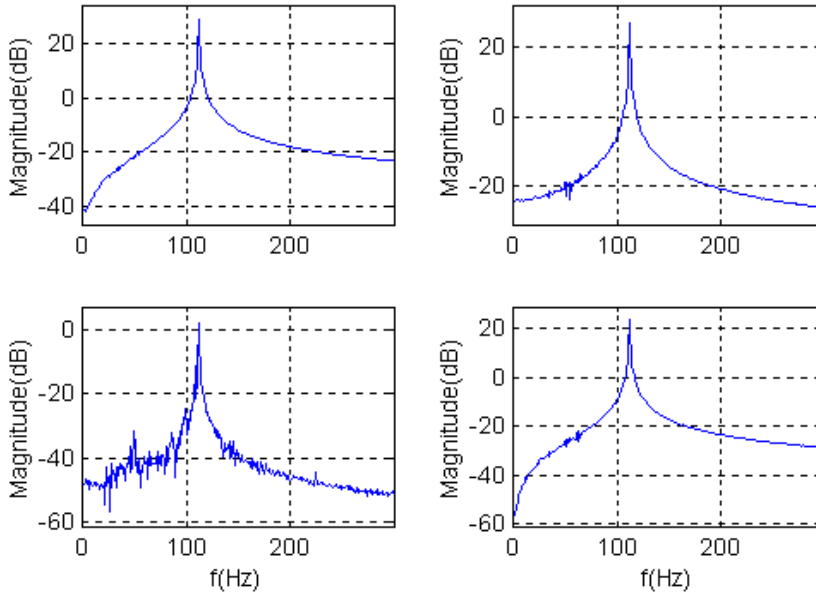


FIGURA 4. Respuesta eléctrica de los cuatro altavoces de control

Como puede verse, existe una atenuación muy importante en los micrófonos 1 y 2, y 5 y 6 (esquinas), pero los resultados son mucho más pobres en los micrófonos situados en el centro de la habitación. Asimismo, vemos que las señales de control generadas por las cuatro fuentes secundarias son muy similares y tienen valores de salida del mismo orden.

Se consideró después otra configuración en la que se utilizaban esas cuatro fuentes situadas en las esquinas junto con otras dos situadas a ambos lados de la fuente primaria. Nuevamente se muestran en las Figuras 5 y 6 los resultados de cancelación en los micrófonos y las señales generadas por los actuadores.



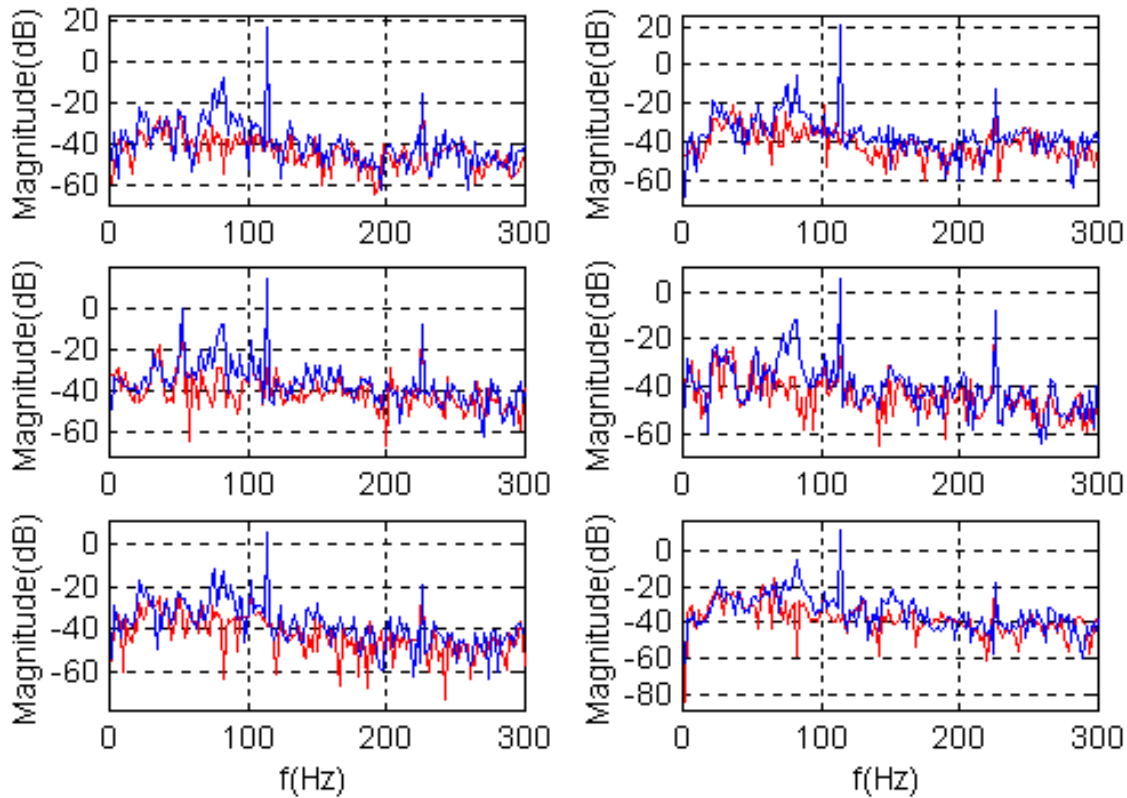


FIGURA 5. Nivel de presión sonora en los micrófonos de error con el sistema CAR desconectado (azul) y conectado (rojo)



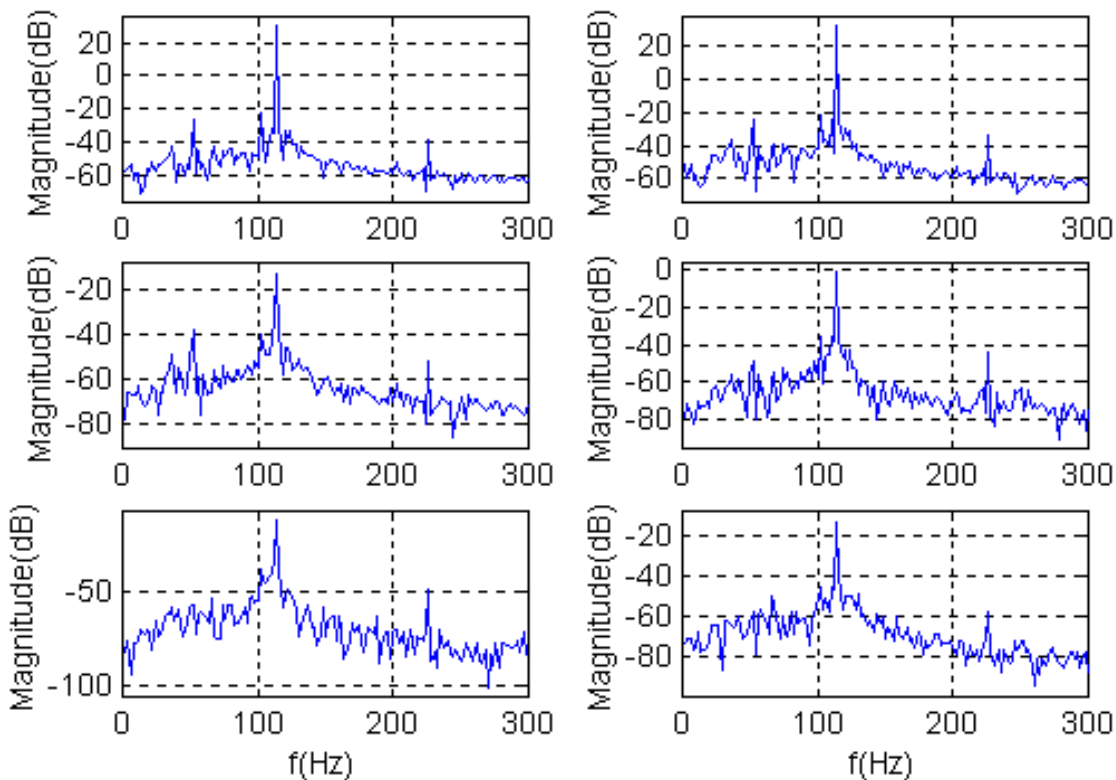


FIGURA 6. Señal de control generada por las seis fuentes secundarias

De las figuras anteriores hay que destacar que los resultados de cancelación en los seis micrófonos de error son mucho mejores y muy similares en todos ellos, no solamente en los situados en las esquinas, como sucedía en el caso anterior. Sin embargo, cuando miramos las señales eléctricas producidas por las seis fuentes secundarias para la cancelación del armónico, podemos ver que los niveles de las fuentes situadas cerca de la primaria son muy superiores a los niveles de las fuentes colocadas en las esquinas del recinto, es decir, que prácticamente son las dos primeras las que están consiguiendo la reducción del campo.

Se examinó entonces otra configuración pero tomando solamente las dos primeras fuentes secundarias, más cercanas a la primaria, es decir, un sistema de control con seis entradas y dos salidas. Los resultados de la cancelación no se muestran aquí, pero se encontró que, aunque la cancelación del armónico era un poco inferior a la obtenida con la configuración de seis fuentes de control, la atenuación del campo primario era uniforme en todos los sensores. En este caso las dos fuentes secundarias se ajustan perfectamente al campo producido por la fuente primaria, consiguiéndose unos resultados de cancelación muy buenos en todo el recinto.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a la práctica un sistema CAR muy sencillo. Consta de siete altavoces, uno de ellos utilizado como fuente primaria y los otros seis como fuentes de control, y seis micrófonos de electrete utilizados como sensores de error. Las posiciones de los actuadores y de los sensores se han elegido de forma que se eviten las líneas nodales de los modos normales de recinto que se pretenden controlar. En la parte electrónica de control se ha utilizado un sistema comercial que reduce el cuadrado de la presión sonora captada en las posiciones de los micrófonos de error mediante el algoritmo FX-LMS. Este sistema es capaz también de actuar como generador de señal a través de sus salidas, de forma que excitamos la fuente primaria armónicamente y



captamos una señal eléctrica que utilizamos como señal de referencia en el sistema de control feedforward.

Hemos trabajado en todas las configuraciones en el margen de frecuencias en el que podemos considerar que el campo en el recinto es un campo modal. Las frecuencias de excitación han correspondido a frecuencias de resonancia del recinto, de forma que los modos propios correspondientes han sido atenuados hasta los niveles debidos a las contribuciones residuales.

Con respecto a los resultados, se han mostrado los obtenidos con dos configuraciones diferentes, una utilizando cuatro fuentes secundarias situadas en las esquinas del recinto, y otra utilizando además otras dos fuentes de control cercanas a la fuente primaria. Los resultados obtenidos con seis fuentes de control son mejores que los obtenidos con cuatro, pero se observa que casi todo el trabajo de la cancelación se realiza por las fuentes secundarias más cercanas a la primaria. Cuando se prueba otra configuración utilizando solamente esas dos fuentes de control, se observa que los resultados son muy similares. Por tanto, siempre que sea posible, la mejor opción es situar las fuentes secundarias cercanas a la primaria, porque se pueden obtener resultados de cancelación muy importantes con un número menor de fuentes secundarias, y por tanto, un sistema de control más sencillo y un menor consumo.

REFERENCIAS

- Elliott, S.J., Nelson, P. A., Stothers, I. M., Boucher, C. C., 1990. "In-flight experiments on the active control of propeller-induced cabin noise". *J. Sound Vib.*, 140(2), 219-238.
- Bremigan, C.D., Eriksson, L.J., Eppli, R.J., Stroup, E.S., 1995. "Future of Active Sound and Vibration Control in Vehicles", in *Proceedings of ACTIVE 95*, Newport Beach, CA, USA, pp. 791-802.
- Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B. y Sanders, J. V., 1982. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley & Sons, New York.
- Schroeder, M. R., 1962. "Frequency-Correlation Functions of Frequency Responses in Rooms". *J.A.S.A.*, 34 (12), 1819-1823.
- Nelson, P.A. y Elliott, S.J., 1992. *Active Control of Sound*. Academic Press, London.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido posible gracias al soporte financiero de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB97-1175-C03-01).

