

Cetta, Pablo

Instrumentos de la mente

Revista del Instituto de Investigación Musicológica “Carlos Vega”

Nº 13, 1994

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central “San Benito Abad”. Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Cetta, Pablo. “Instrumentos de la mente” [en línea]. Revista del Instituto de Investigación Musicológica “Carlos Vega”, 13 (1994). Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/greenstone/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=Revistas&d=instrumentos-mente-pablo-cetta> [Fecha de consulta:.....]

INSTRUMENTOS DE LA MENTE

PABLO CETTA

Por 1960, a partir de los desarrollos emprendidos por los laboratorios de la Bell Telephone y las Universidades de Columbia y Princeton, las computadoras comienzan a convertirse en instrumentos musicales, instrumentos inteligentes, según la definición de Max Mathews, uno de los pioneros de la música por computadoras junto con John Pierce.

Varios compositores relacionados con la música electrónica y sus instrumentos, animados por un control exhaustivo del sonido y de las estructuras musicales, vieron en estas máquinas el medio más preciso para concretar sus ideas musicales.

Actualmente, la computadora en su relación con la música es un instrumento para crear nuevos instrumentos. Que suenan, pero que a la vez ejecutan, asisten en la composición, analizan música y sonido, perciben las intenciones de un intérprete, recuerdan, modifican el canto de los instrumentos tradicionales, aprenden y enseñan. Y que difieren tanto de sus parientes acústicos que tal vez nos lleve años aprender a ejecutarlos correctamente.

De medios nuevos surgen estéticas nuevas, muchas de ellas son motivo de confrontaciones y controversias. Lo cierto es que la música por computadoras es una actividad multidisciplinaria, que obliga a moverse más allá de las especialidades. Los científicos actúan en el campo de la música y los músicos en el de la ciencia. Entre tanto, el arte gana de a poco un nuevo espacio.

Conforme avanza la tecnología, cambia nuestra realidad acerca de la música. Una evolución vertiginosa que tal vez sólo sea comparable a la producida por otro hito

previo de la técnica: la aparición de los medios de grabación sonora. Un hecho, que entre otras tantas cosas, cambió el modo de estudiar y entender la música, o que permitió en su momento el desarrollo de una nueva música llamada concreta.

Tratamiento numérico del sonido

Un transductor convierte información o energía de una forma a otra. El oído mismo es un transductor, convierte la energía mecánica de determinados movimientos oscilatorios a impulsos nerviosos. Un micrófono también lo es, la energía mecánica se traduce a energía eléctrica, y su transductor contrario es el parlante.

Para la codificación de señales eléctricas en números y su posterior decodificación, existen otros dos: el Conversor Analógico-Digital (CAD) y el Conversor Digital-Analógico (CDA). El primero, genera a la salida una serie de números proporcionales a las tensiones eléctricas que en él ingresan. El segundo, produce el efecto contrario, entran números y salen tensiones eléctricas cuya magnitud es proporcional a esos números. Veamos una aplicación.

El gráfico 1 representa una onda mecánica que se convierte en una señal eléctrica, luego de pasar a través de un micrófono. La señal eléctrica ingresa en el CAD y ahora se transforma en una secuencia de números que conforman una señal digital. Los números son leídos por la computadora y almacenados en su memoria o bien en el disco rígido.

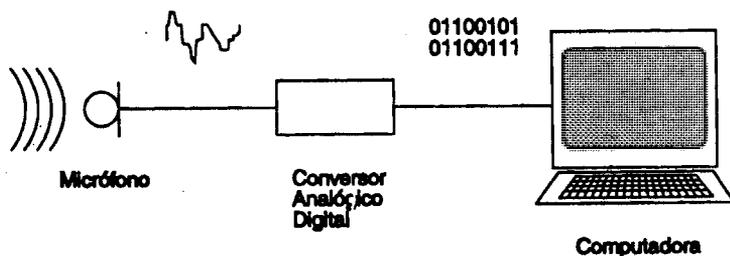


GRAFICO 1

Hasta el momento el sistema funciona como un grabador digital. La onda quedó representada numéricamente y cada número describe fielmente los cambios de presión en el aire circundante al micrófono, que se produjeron en el momento de grabar. La información, por su naturaleza numérica, permanece inalterable al paso del tiempo.

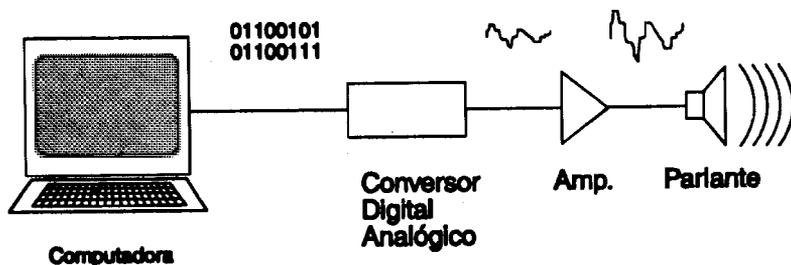


GRAFICO 2

El gráfico 2 representa la acción contraria. La computadora envía el contenido de su memoria al convertor DA. La señal eléctrica generada se amplifica convenientemente y se entrega al parlante. El cono del parlante mueve el aire y genera una onda idéntica a la producida por la fuente original. El sistema funciona ahora como un reproductor digital.

La cantidad de números necesarios para representar una forma de onda, cualquiera sea, por unidad de tiempo, es considerablemente grande. Y al decir onda me refiero tanto a sonido como a música. Una sinfonía de Beethoven en ejecución no es más, desde el punto de vista físico, que una única y compleja forma de onda.

En un disco compacto, por ejemplo, hay 44.100 muestras por segundo -por cada canal estereo- de la forma de la onda original. Para aquellos más familiarizados con la terminología de las computadoras, cada muestra ocupa 16 bits, y cada minuto de música con la fidelidad de un CD ocupa unos diez megabytes.

La música por computadoras se basa en los principios explicados anteriormente. Es posible tomar sonidos ya existentes -en algo se asemeja a las técnicas de la música concreta- o bien generar señales digitales desde la computadora y transformarlas en sonido a través de la

cadena del gráfico 2 -algo así como la música electrónica-.

En el primer caso (sampling) es posible modificar la señal digital por medio de procesos muy variados. Dado que se trata de números, los procedimientos posibles son múltiples y adquieren un vuelo antes imposible de imaginar.

Del segundo caso hablaremos a continuación.

Síntesis digital

Si deseamos obtener un sonido puro a partir de esta técnica, bastará con rellenar una tabla de valores en memoria con la función seno (ver figura 3). Dicha tabla representa un ciclo de una onda sinusoidal, y si es enviada repetidas veces al conversor DA generará esa onda de salida. De la cantidad de lecturas totales de la tabla por segundo dependerá su frecuencia (ciclos por segundo); del número por el cual multipliquemos los valores de la tabla dependerá su amplitud; y de la posición de la tabla donde comencemos a leer dependerá su fase.

Para lograr sonidos complejos podemos sumar varios sonidos puros con frecuencias, amplitudes y fases determinadas (síntesis aditiva); partir de un sonido complejo y aplicar filtros numéricos (síntesis sustractiva); o bien, recurrir a técnicas de síntesis más económicas y flexibles como la Frecuencia Modulada (Chowning, 1971)⁴ o la Distorsión No Lineal (Arfib, 1979; Beauchamp, 1979; Le Brun, 1979)⁵.

Cualquiera sea la técnica elegida, contamos con programas especialmente diseñados para realizar esta tarea.

Entre los programas de síntesis digital más eficientes y desarrollados se encuentra Cmusic, diseñado por F. Richard Moore. El autor lo define como un compilador acústico que traduce partituras en señales digitales⁶. No se trata de una partitura en el sentido tradi-

cional, sino de un conjunto de sentencias. La señal generada depende de instrumentos definidos en esas sentencias y de listas de notas ejecutadas por esos instrumentos. Veamos un ejemplo sencillo que nos permita generar sonidos puros:

instrument 0 ejemplo; Se crea el instrumento llamado "ejemplo".

osc b1 p5 p6 f1 d; Se define un oscilador, que en realidad será la tabla de valores. b1 es su salida, p5 es la amplitud (se indica su valor más abajo, en la definición de cada nota), p6 es la frecuencia, f1 es la función con que se rellena la tabla (por ejemplo, seno) y d es una variable interna del programa.

out b1; Los valores de la tabla se envían al conversor AD.

end; El instrumento ha quedado definido.

SIN(f1)' Se rellena la tabla con la función seno.

note 0 ejemplo 2 -6dB 440Hz; Primera nota. Produce un sonido en el segundo 0, en el instrumento "ejemplo". Dura 2 segundos, tiene una intensidad de -6 decibeles (p5 en el instrumento) y una frecuencia de 440 Hz (p6).

note 2 ejemplo 3 -3dB 880Hz; Otra nota, que comienza cuando termina la otra. Ahora la intensidad es de -3dB y suena una octava más alto.

terminate; Fin de la partitura.

Al oscilador (osc) se lo denomina también unidad generadora. Otras unidades generadoras permiten sumar señales digitales, multiplicarlas, filtrarlas, crear elementos de control (para generar envolventes dinámicas o de altura, por ejemplo), o procesarlas para controlar la localización del sonido en el espacio. Las posibilidades son realmente vastísimas, tanto para la composición musical como para la investigación en física y psicofísica.

Una vez iniciado el proceso, la máquina calcula el resultado final (instrumento más notas) y crea un archivo de sonido (en realidad son sólo números que representan a la señal digital). Una vez comenzada la ejecución de este resultado, no tengo opción alguna de controlar el más mínimo aspecto del sonido durante su desarrollo. Un piano actúa en tiempo real, bajo una tecla e inmediatamente escucho un sonido. La computadora actúa, en cambio, en tiempo diferido. Mientras más compleja es la partitura, más tiempo tarda en obtener el resultado sonoro.

Actualmente, se intenta que las computadoras puedan actuar en tiempo real. No es una tarea fácil, dado que los volúmenes de información a tratar requieren una velocidad altísima de proceso. Esto es posible a través del diseño de periféricos de computadora especializados en el tratamiento de señales digitales. El procesador de señales Ariel/IRCAM es uno de los desarrollos más recientes en este terreno.

La capacidad atribuída a la música por computadoras de poder realizar cualquier sonido imaginable ha sido siempre uno de sus principales puntos de interés. No obstante, ciertas limitaciones cuestionan esa aparente libertad a la hora de recrear un sonido imaginable pero conocido, tal como el de un instrumento acústico tradicional. Lograr la enorme gama de articulaciones y timbres y su relación en un contexto musical determinado es una tarea aún no del todo resuelta por esta ciencia. La combinación de los recursos instrumentales de manera inteligente es un proceso difícil de comprender, y más todavía, de formalizar.

A partir de la configuración explicada en el gráfico 1 y con el software apropiado se puede registrar una

señal proveniente del exterior (de un instrumento acústico, por ejemplo) y proceder a su análisis⁶. Esto ha contribuido a un mejor conocimiento de los instrumentos convencionales y a su perfeccionamiento. Nuevas técnicas de síntesis se han inventado para poder imitarlos con mayor precisión⁷, sin necesidad de recurrir a cantidades enormes de memoria para su representación. A estas técnicas, de síntesis derivadas del análisis, se las denomina en general Modelado Físico^{8, 9}.

Hasta aquí la computadora se emplea como un instrumento en cuanto a producción sonora.

Los instrumentos musicales digitales (órganos, sintetizadores, samplers, etc.) son, en sí mismos, computadoras de uso específico. Si bien su aspecto difiere al de estas máquinas, lo cual está en relación a su uso, su configuración interna es similar. El sampler pertenece a la primera clasificación (grabación-reproducción). El sintetizador digital a la segunda (síntesis digital). Ambos, en general, se relacionan mejor con los músicos ya que se comunican con el usuario a través de un teclado u otro controlador con forma de instrumento: guitarra, instrumento de percusión o inclusive una batuta electrónica.

Estos instrumentos poseen un repertorio limitado de posibilidades. Por ejemplo, un sintetizador responde en general a una única técnica de síntesis y a un número concreto de opciones dentro de esa misma técnica, especificado por su fabricante. Pero a la vez goza de una enorme ventaja: una vez terminada la configuración del instrumento la ejecución se realiza en tiempo real (al igual que en un violín, puede agregar vibrato cuando sea necesario).

Composición musical

Se atribuye a Hiller e Isaacson, de la Universidad de Illinois, el haber sido los primeros en emplear una computadora para componer música. Ellos realizaron numerosas experiencias en este campo, y publicaron sus resultados mediante la composición de un cuarteto de cuer-

das llamado *Illiad Suite* (1957), dividido en secciones en diferentes estilos que van desde un coral hasta el atonalismo libre¹⁰. Aquí la computadora no produce sonido alguno, sino que genera una lista de notas a ser ejecutada por instrumentos tradicionales.

Esta experiencia parte de la programación de una serie de reglas. La máquina genera aleatoriamente notas que luego pasan a formar parte de la partitura sólo si las satisfacen. El cuerpo de reglas establecido puede responder a un determinado estilo musical¹¹.

Hiller intenta emular el proceso compositivo, pero sabemos que las reglas de un estilo nunca nos dicen qué hacer, sino lo que está vedado. La composición es mucho más que eso. En la actualidad, la tarea principal de investigación en esta disciplina -o al menos debería serlo- es la de intentar formalizar esos procesos.

Gotfried Koenig¹², Iannis Xenakis¹³ y Roger Reynolds¹⁴ entre otros han contribuido al desarrollo de la composición asistida.

Los desarrollos primarios se basan en la capacidad y velocidad de las máquinas para seleccionar un elemento determinado de un conjunto muy grande de elementos posibles, generar números al azar, determinar probabilidades y estadísticas, realizar operaciones aritméticas y lógicas, etc. Un programa, si bien no puede reemplazar la tarea de componer, puede acercar un número más amplio de posibilidades o ayudar en la resolución de procedimientos ideados por el mismo compositor.

Hoy en día existen programas de computadora para jugar al ajedrez a los cuales muy pocos pueden vencer. A pesar de ello, nadie ha abandonado el juego, es más, se los ha incorporado como herramientas de entrenamiento válidas. Algo similar ocurre en la música. Se puede aprender algo de las máquinas que manejan todas las posibilidades combinatorias en tiempos muy breves. La escritura misma de estos programas ayuda a repensar la música una y otra vez.

Existe una gran variedad de programas de composición¹⁵, muchos de ellos en forma de lenguajes, y en general, escritos en lenguajes de inteligencia artificial

(LISP, Prolog, Smaltak). Posiblemente se escribirán muchos más, dado que habría tantos modelos a formalizar como compositores existen.

En algunos se combina la parte compositiva con la producción de sonido (síntesis) o la edición de la partitura en notación musical. Los grados de libertad ofrecidos al compositor también son muy variados: desde la asistencia limitada a algún aspecto compositivo (control de alturas según alguna técnica, por ejemplo) hasta la realización total de la obra según los dictados previos del compositor.

Otra aplicación relacionada con las estructuras musicales es el análisis. Si un programa es capaz de armonizar una melodía, puede derivar fácilmente en otro que analice. La utilización de una técnica de análisis compleja, de la altura en la música atonal por ejemplo¹⁶, resulta bastante tediosa sin la asistencia de un programa especialmente diseñado para ese fin.

Comunicación entre instrumentos

En 1983 los fabricantes de instrumentos musicales electrónicos de todo el mundo adoptaron una norma para facilitar la comunicación entre sus equipos y las computadoras: MIDI (Musical Instruments Digital Interface).

Gracias a esta compatibilidad, un instrumento puede pasar información en tiempo real, durante su ejecución, a otro instrumento o a una computadora.

El tipo de información nada tiene que ver con el sonido en sí mismo, sino con acciones que se realizan sobre los controladores del instrumento (teclas, botones para acceder a los timbres almacenados, pedal, etc.). A cada una de estas acciones corresponde un mensaje determinado que se transmite a los otros instrumentos conectados. La ejecución de notas en un teclado (maestro) se refleja en los otros instrumentos (esclavos).

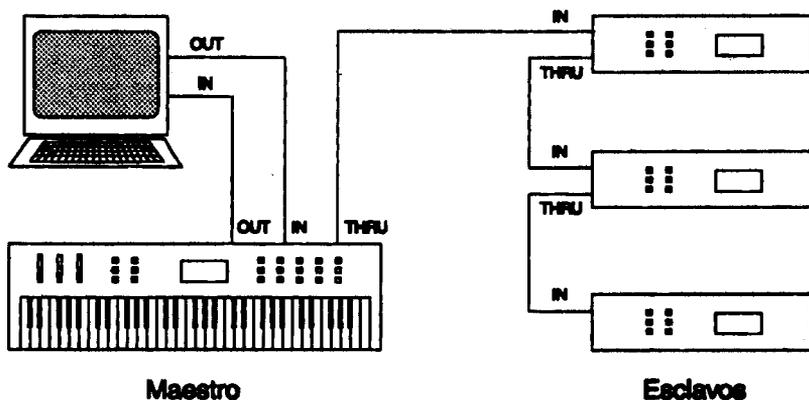


GRAFICO 3

Una computadora conectada al sistema puede recoger los mensajes y almacenarlos en memoria mientras dura una ejecución. Posteriormente puede devolverlos a los instrumentos y reproducir exactamente las acciones antes efectuadas. Algo así como un grabador que no registra el sonido del piano, sino el movimiento de los dedos del que lo toca; el resultado al reproducir es en definitiva

el mismo. Este recurso hace posible la interacción en tiempo real (los mensajes son muy breves, ya que no se transmite información alguna sobre el sonido), y respeta la elección del fabricante de generar el sonido como más le convenga.

Las secuencias de mensajes capturados por la computadora pueden ser, además, procesados de distintas formas (transposición, retrogradación, cambio de tempo, cambio de matices, etc.). Inclusive, las secuencias pueden ser escritas en la misma computadora (pasando a código una partitura) o por la misma computadora (mediante un programa de composición automática, por ejemplo).

Los archivos de mensajes MIDI poseen también un formato estandarizado, significa que son transportables entre programas de música. El archivo creado por un programa de composición puede ser utilizado por otro programa de gráfica que represente los resultados en notación musical.

Comunicación con los instrumentos

Actualmente se trata de que las computadoras puedan resultar útiles y eficientes a un número cada vez mayor de personas. En tal sentido se ha producido un cambio muy importante en la forma en que el usuario interactúa con la máquina. La comunicación se produce a través de una interfaz gráfica -representación icónica que reemplaza a la simbólica- y de periférico a especializados -mice; scanners; impresoras laser; lápices ópticos; joysticks; teclados musicales u otros controladores MIDI; o de reconocimiento de la voz misma del usuario, de caracteres escritos o de notación musical-.

En la ejecución de música en vivo se pretende que los instrumentos actúen de forma "sensible". En general se trata de medios de excitación de sonido o música, o de control de sus parámetros.

El controlador por excelencia es el teclado. Naturalmente maneja alturas e intensidades. Pero su uso

puede hacerse extensivo a otros parámetros, como ser el timbre, el tempo de una secuencia almacenada y ejecutada en una computadora, la ubicación de un sonido en el espacio o el control de cámaras y reproductores de video de una obra multimedia. Todo es cuestión de asignar correctamente los mensajes que envía mientras es ejecutado, a los distintos dispositivos.

Para la interpretación en instrumentos MIDI en vivo, también se utiliza un aparato llamado conversor de alturas a mensajes MIDI (Pitch to MIDI Converter). Por medio de él, una flauta -o cualquier otro instrumento tradicional- puede disparar un sintetizador o un sampler que copie exactamente la melodía ejecutada, pero que suene con distinto timbre. Otras aplicaciones más elaboradas contemplan el uso de programas para el redireccionamiento de los valores de altura a otros parámetros musicales¹⁷, acompañamiento automático¹⁸, etc.

Sensores infrarrojos para traducir movimientos en el espacio a mensajes MIDI¹⁹, o tambores inteligentes, que disciernen sobre la intensidad de los golpes y el sector donde se producen y los convierten en datos²⁰, completan el amplio espectro de posibilidades.

La música en vivo se desarrolla en un entorno en el cual los músicos cumplen el rol de compositores, programadores y ejecutantes²¹.

Consideraciones finales

La computadora nos sirve como herramienta formalizadora de ideas. Una especie de instrumento de la mente para concretar niveles de control de las estructuras musicales en orden creciente. No garantiza una música buena ni mejor, simplemente hace a algún tipo de música, posible.

A la vez nos ayuda a entender mejor la música. Gareth Loy²² y Richard Moore [ver nota 4] expresan el rol que asumen las computadoras en la investigación musical a través de un juego de palabras: a partir del

uso de estas máquinas estamos viviendo la transición entre la Musicología y la Musiconomía. Esta afirmación parte de la comparación entre la Astrología (lo que se puede decir sobre los astros) y la Astronomía (el cuerpo de leyes que los gobiernan), luego del descubrimiento del telescopio y de las interpretaciones que diera Galileo a sus observaciones. Las observaciones de los fenómenos musicales se tornan más precisas con la ayuda de las computadoras.

Independientemente de las posiciones adoptadas, para cuantos menos músicos permanezca este campo indiferente, mayores contribuciones se sucederán en el terreno del arte.

* * * * *

REFERENCIAS

1. Algunos compositores inscriptos en esa nueva corriente y sus obras:

Randall: *Quartets in Pairs* (1964)
Quartersines (1969)

Dodge: *Changes* (1970)
Earth's Magnetic Field (1970)

Ussachevsky: *Two Sketches for a Computer Piece* (1971)

Boretz: *Group Variations* (1964, versión instrumental - 1973, versión para computadora)

2. Chowning, J. "The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation". *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(7), 1973.

3. Roads, C. "A Tutorial on Nonlinear Distortion or Waveshaping Synthesis". *Computer Music Journal*, 3(2), 1979.

4. Moore R. *Elements of Computer Music*. Prentice Hall, New Jersey, 1990.

5. Rick Bidlack: demostración de procesamiento en tiempo real en la computadora NeXT en conjunción con la Workstation Ariel/IRCAM. En el CRMA (Center for Research in Computing and the Arts, Universidad de California en San Diego). 1992.

6. Mediante el uso de algoritmos de FFT (Fast Fourier Transform) se puede descomponer una onda en sus componentes, y luego representar gráficamente el timbre en tres dimensiones.
7. Chafe, C.: "Simulating Performance on a Bowed Instrument", artículo de *Current directions in Computer Music Research*. Recopilado por Mathews y Pierce. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
8. Moorer, J.: "Signal Processing Aspects of Computer Music: A Survey", artículo de *Digital Audio Signal Processing*, William Kaufmann Inc. Los Altos, CA, 1985.
9. Wawrzynek, J.: "VLSI Models for Sound Synthesis", artículo de *Current directions in Computer Music Research*, recopilado por Mathews y Pierce, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
10. Hiller, L. e Isaacson, L.: *Experimental music*, McGraw-Hill, New York, 1959.
11. William Schottstaedt: *Automatic Species Counterpoint. Stan-M-19. CCRMA*, 1984. El autor diseñó un programa para resolver ejercicios de contrapunto en las cinco especies hasta seis voces, de acuerdo a las reglas indicadas por Fux en *Gradus ad Parnasum* (1725).
12. Koenig, G.: *Project One, Electronic Music Reports 2*. Institute of Sonology, Utrecht, 1970.
13. Xenakis, I.: *Formalized Music*. Indiana University Press, Bloomington, 1971.
14. Reynolds, R.: *Musical Production and Related Issues at CARL*. I.C.M.C., San Francisco, 1986.
15. Loy, Gareth: "Composing with Computers. A Survey of Some Compositional Formalisms and Music Programming Languages", artículo de *Current directions in Computer Music Research*, recopilado por Mathews y Pierce, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
16. Forte, A.: *The Structure of Atonal Music*. Yale University Press, New Haven, 1973.
17. El programa MAX (Puckette, 1986) permite una amplísima gama de posibilidades en ese sentido.

18. Dannenberg, R.: "Real-Time Scheduling and Computer Accompaniment". Artículo de *Current directions in Computer Music Research*, recopilado por Mathews y Pierce. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.

19. Lightning, realizado por Buchla.

20. Mathews, M.: "The Conductor Program and Mechanical Baton", artículo de *Current directions in Computer Music Research*, recopilado por Mathews y Pierce. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.

21. Robert Willey: *El rol del Compositor-Programador-Intérprete en la Música por Computadoras*. Conferencia en el Centro de Estudios Electroacústicos de la Facultad de Artes y Ciencias Musicales de la U.C.A. (1992).

22. Loy, G.: "Connectionism and Musiconomy", artículo de *Music and Connectionism*. Editado por Peter Todd y Gareth Loy. M.I.T. Press, Massachusetts, 1991.