

COMPUTER MUSIC

(notas y bits)

Felix Serrano Delgado
I+D Madrid
Fujitsu España, S.A.

Félix Serrano Delgado (1956...)

Es Ingeniero de Telecomunicación por la ETSITM (1980). En ese mismo año entra a trabajar en SECOINSA como ingeniero de diseño Hardware en I+D Málaga. Realiza diseños de placas y programas para el sistema TESYS y para MODEMS. En el año 83 se traslada a Madrid donde realiza diseños de placas para la serie 20 (PGC). Es nombrado jefe de diseño Hardware de I+D Madrid. Se realizan nuevos diseños para el TESYS y para el NETCOM. En el año 85 colabora en la especificación de la serie X, y en el 86 del sistema TESYS-B. En el año 87 se traslada a Japon donde participa en el proyecto conjunto del modem V.32 como jefe de la delegación española hasta su finalización en el año 88. En la actualidad participa en el desarrollo del proyecto TESYS-AX como responsable Hardware.

COMPUTER MUSIC (notas y bits)

RESUMEN

Este artículo revisa el estado del arte en Música por Ordenador agrupado en cuatro temas principales: Instrumentos Musicales, Computadores Personales, Arquitecturas e Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

This paper reviews the state of the art in Computer Music grouped in four main fields: Musical Instruments, Personal Computers, Architectures, and Artificial Intelligence.

Miguel habló:

- Oye MICA, vamos a tocar un tema siguiendo el ritmo del viejo Dizzie Gillespie, ya sabes, con un poco de sonido latino y sin dejar el ambiente festivo. Yo empezaré tocando unos compases de entrada y luego tú me sigues.

Algunas luces parpadearon en la consola. Una partitura se dibujó en la pantalla y un metrónomo comenzó a repetir el regular "TOC-TOC". Una voz asexual dijo:

- Cuando quieras, Miguel.

Y ambos empezaron a tocar.

Prefacio

A veces, cuando te encuentras mas enfrascado en un trabajo o problema, de repente notas la sensación de cansancio, de que todo aquello es insípido. Nos desenvolvemos en un entorno muy "sintético" en la I+D, trabajando con los sistemas operativos, los protocolos de comunicaciones, etc. En todo ello hay un alejamiento del lado humano, de que tu trabajo se desarrolla en otro mundo completamente ajeno a las personas y los sentimientos.

Pero sin embargo, aquello que hacemos será utilizado por personas, que a su vez lo utilizarán para ofrecer servicios de todo tipo a otras personas, desde una base de datos para una oficina de empleo hasta un control industrial en una fábrica o la predicción del tiempo.

Yo desde siempre he sido alguien enamorado de la música, tanto para escucharla como para tocarla o componerla. También desde el principio me interesó las posibilidades de la tecnología (electrónica) para todo aquello que fuera crear y oír música. En cierto modo ella es la responsable de que yo esté aquí, pues fué buscando nuevas formas de realizar mis ideas como me interesé primero por la electrónica y después por los ordenadores.

Quisiera que este artículo sirviera para sacar al lector de la abstracción técnica de su trabajo y encontrar uno de los posibles sentidos y finalidades de toda una tecnología, que por otra parte y en el caso de la música aprovecha y (es más) exige el máximo de sofisticación disponible hoy día, como la investigación sobre nuevos lenguajes y formas de representación, la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos, y técnicas como el Proceso Digital de Señal (DSP) y los sistemas operativos multitarea en tiempo real.

Introducción

La aplicación de los ordenadores a la música ha sido objeto de investigación desde hace unos veinte años. Existen varios motivos que hacen de ello un interesante desafío. En primer lugar, es interdisciplinar, interviniendo en un conjunto de áreas de actividad que incluyen interpretación y composición, teoría musical, ingeniería y ciencia de los ordenadores, proceso de señal, ciertas áreas de la psicología e incluso de la lingüística.

Además, se descubre que, a diferencia de otros campos de aplicación artística, la música tiene algo significativo que aportar a la ciencia informática. Ello no quiere decir que la informática es algo parecido a la música, son disciplinas diferentes en estilo, tradición y motivación. Y, sin embargo, hay importantes similitudes. Ambas se caracterizan por un amplio ámbito de actividades. Por ejemplo, un músico puede ser un compositor, un intérprete, o un teórico, así como un informático puede trabajar en diseño, implementación o teoría.

También existe una tradicional y misteriosa relación entre música y matemáticas. Se dice que los matemáticos se sienten atraídos por la música y resultan "capturados" por ella. El caso de Einstein como aficionado intérprete de violín es un ejemplo muy conocido. Por otra parte, a ciertas formas de música se le atribuyen caracteres matemáticos, como la última composición de J.S. Bach "El arte de la Fuga". Por ejemplo, en el siglo veinte, Weber, Boulez, y Xenakis son compositores que emplean procedimientos inspirados en las matemáticas para la composición. La razón de todo ello es difícil de descubrir, pero resulta intrigante, especialmente a aquellos interesados en la música y las matemáticas.

Otro punto de contacto entre música y ordenadores es la relación entre música y lenguaje. La música requiere el uso de símbolos, estructuras simbólicas, representaciones y transformaciones. Escuchar música requiere percepción auditiva, tal como el lenguaje. Por otra parte, los mecanismos de percepción de ambos parecen bastante distintos. Recientemente, los psicólogos han encontrado evidencias de que la música y el habla son procesados en diferentes partes del cerebro. Ciertos in-

vestigadores han concluido que la percepción musical complementa la percepción oral, y que es necesaria la comprensión de ambas para la comprensión del comportamiento simbólico humano.

Aplicaciones

Volviendo a las posibles aplicaciones de los ordenadores a la música, se podrían citar entre ellas las siguientes:

- *Catalogar y Analizar* obras musicales escritas. Por ejemplo, se han construido bases de datos de pasajes de obras del renacimiento, y se han efectuado búsquedas de patrones para encontrar el estilo melódico de ese periodo.

- *Editores para notaciones musicales* de diferentes tipos. Ello necesita a menudo interfaces gráficas sofisticadas.

- *Enseñanza de música*. Los casos más comunes son el dictado y la "lectura a vista", puesto que requieren mucho tiempo del profesor. En el primer caso, el ordenador emite las notas que deben ser reconocidas por los alumnos. En el segundo el ordenador presenta secuencialmente una partitura y los alumnos la interpretan en un sintetizador, mientras el ordenador comprueba la calidad de ejecución.

- *Composición Automática*. Este es un viejo sueño, sobre el que mucha gente ha efectuado experiencias. Originalmente, se componían partituras automáticamente basadas en secuencias pseudoaleatorias, lo que conducía a pasajes musicales de casi nulo interés. Pero hoy día, los programas de composición permiten un grado de interacción mucho mayor entre el compositor y la máquina.

- *Síntesis y proceso digital de sonidos*. Este área ha sido la dominante durante mucho tiempo. Hay muchas posibilidades en este campo, algunas puramente técnicas y otras más conceptuales. En él es donde se integran de forma más completa y natural la tecnología de ordenadores y la música. La generación de sonidos e instrumentos, así como la ejecución en tiempo real requieren gran potencia de proceso, grandes anchos de banda para mover datos, concurrencia para manejar múltiples tareas simultáneamente, y multiprocesadores para las di-

versas funciones. Los diseñadores de algoritmos sonoros necesitan un profundo conocimiento tecnológico y una amplia base musical, imaginación y buen oído.

- *Control y secuenciamiento.* Con el advenimiento de los ordenadores personales a bajo precio, así como sintetizadores y módulos de sonido multitímbricos, queda al alcance de cualquiera el montaje de "la orquesta en casa". En este caso se usa el ordenador como sustitución del magnetófono multipista, por supuesto con más flexibilidad, posibilidades, capacidad y limpieza. Está siendo ampliamente utilizado por compositores y grupos como herramienta de maquetación y producción.

- *Bases de datos y Redes locales.* Recientemente, se empieza a pensar en un "entorno de desarrollo musical" que permita abordar todos los aspectos del trabajo (composición, interpretación, programación, ...) musical de forma integrada. El corazón de todo ello es una base de datos que permita almacenar y relacionar entre sí toda la información necesaria para cada aspecto del trabajo, así como las herramientas apropiadas para ello. El puesto de trabajo

("workstation") utiliza técnicas avanzadas (sistema operativo multitarea, ventanas, gráficos, sonido PCM, interfaces, ...) y se puede conectar en una red local que permite la utilización conjunta de recursos, y aún más importante, la comunicación integrada entre usuarios como catalizador de los trabajos realizados individualmente por cada uno de ellos.

El principal objetivo de este artículo es efectuar una introducción a los aspectos más importantes hoy día sobre música y ordenador, que como se ve son muchos y muy variados. Lamentablemente, solo se podrá hacer una breve introducción a cada uno de ellos en tan reducido espacio, esperando poder ampliar los temas más interesantes en el futuro.

Se van a presentar los aspectos más interesantes agrupados por los siguientes temas:

- Instrumentos Musicales
- Los Computadores Personales
- Arquitecturas, Lenguajes y Sistemas Operativos
- Inteligencia Artificial

Instrumentos Musicales

El instrumento por excelencia utilizado en música electrónica es el sintetizador. Consiste el tal aparato en un teclado tipo piano con un total de entre tres y seis octavas, mas un conjunto de controles y luces o pantallas de diversos tipos. Entre los controles mas corrientes estan la rueda de modulación y el "joystick", elementos innovadores y distintivos de este instrumento frente a los más tradicionales.

Se dice que el primer sintetizador fué el MOOG, llamado así en honor de su creador. Este era un instrumento totalmente analógico donde los sonidos se generaban en osciladores y filtros controlados por tensiones provenientes del teclado, generadores de envolventes y ruedas de modulación. La verdadera innovación aportada por él fué que el músico por primera vez podía configurar el aparato en infinidad de maneras diferentes para generar sonidos, combinando los diversos módulos, interconectándolos entre sí, y activando los controles de cada uno. El "Sintetizador de sonidos" se convirtió en un intrumento original por derecho propio.

Los Sintetizadores utilizados hoy día estan basados en el mismo principio modular de sonidos configurados por el músico, aunque empleando técnicas completamente digitales y una gran variedad de algoritmos de síntesis. Pasaremos repaso brevemente a los más importantes.

La Síntesis Analógica

Utiliza el método MOOG original. Básicamente consiste en disponer un conjunto de osciladores cuya entrada está acoplada al teclado para la interpretación de las notas musicales y a diversos modificadores para efectos, como los LFO (osciladores de baja frecuencia, entre 0.1 y 10 Hz), que proporcionan efectos de "vibrato" y "tremolo". La rueda de modulación también puede controlar los osciladores, proporcionando el efecto de "glissando". Los diversos osciladores pueden generar distintas formas de onda en su salida, típicamente triangular, cuadrada, rectangular o diente de sierra. La salida de todos ellos se introduce a un mezclador y después a un control de volumen cuya respuesta varía dinámicamente según lo que se llama un "generador de envolvente". Este generador está disparado por la pulsación de cada tecla y su misión es proporcionar los efectos de "ataque", "sostenido" y "caída" de cada nota. Por último, los sonidos se conducen a unos filtros cuya frecuencia de corte está controlada por unos generadores de envolvente similares a los anteriores, aunque funcionando con parámetros diferentes.

Las configuraciones anteriormente descritas corresponden a un caso típico, aunque el músico puede alterarlas libremente para conseguir los sonidos que pretenda. También dispone de elementos adicionales que combinar con los anteriores, como los "generadores de ruido" (blanco o rosa), para efectos tipo viento, tormenta o flauta, los "moduladores en anillo" (multiplicadores analógi-

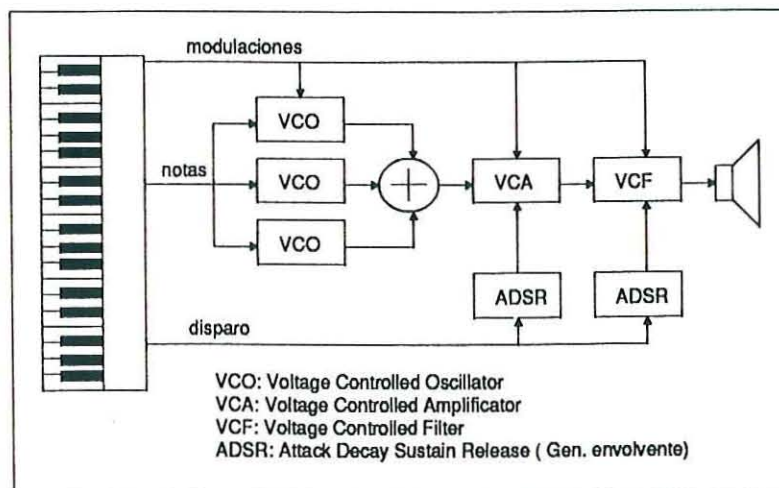
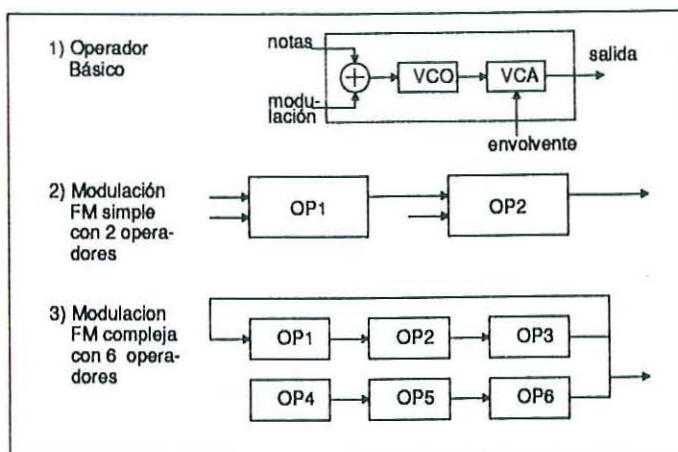


Fig. 1: Esquema básico del sintetizador MOOG

Fig. 2: Síntesis FM por bloques usada por YAMAHA



cos), utilizados para producir sonidos metálicos, las líneas de retardo, que producen efectos de reverberación, y otros denominados "phasing" y "flanging" en la jerga.

La Síntesis FM.

Este es un método desarrollado en los años 70 y patentado por YAMAHA para su uso en sintetizadores comerciales, en su modelo DX7 que ha sido un gran éxito.

El principio de esta técnica, como su nombre indica (FM) es la modulación de frecuencia. En ella, los osciladores de que hablábamos en la síntesis analógica son conectados a otros osciladores, modulándolos. La salida de éstos, a su vez, se conecta a la entrada de otros, y así sucesivamente. El tipo de sonidos producido se caracteriza por un rico espectro armónico. El éxito de que goza se debe a obtener sonidos muy limpios, especialmente cuando imita a instrumentos acústicos de cuerda, como violines, pianos, etc.

El principal inconveniente es que, al ser un tipo de modulación no lineal, resulta muy difícil controlar los efectos producidos, y obtener el sonido que se busca puede ser a veces cuestión de suerte, así como encontrar un buen sonido cuando se iba buscando otro.

La Distorsión de Fase

Este es un procedimiento de síntesis que se basa en la generación de ondas senoidales con un cierto porcentaje de distorsión, de forma que se crean diferentes armónicos. Esta distorsión se produce alterando la fase de la onda en un segmento de ésta, y así se generan los sonidos y sus modulaciones.

Este procedimiento ha sido utilizado por CASIO en sus sintetizadores CZ. El tipo de sonidos a que da lugar es similar a los sintetizadores analógicos, pero utiliza técnicas digitales simples, lo que le confiere gran sencillez de programación, robustez y repetibilidad.

La Síntesis Aditiva

También llamada síntesis de Fourier o síntesis Armónica, genera el espectro armónico deseado mediante la suma de las ondas senoidales puras de frecuencia múltiplo de la fundamental. Se utiliza un generador de envolvente independiente para controlar los ataques y caídas de cada armónico. El procedimiento es el más adecuado para la recreación de sonidos reales, mediante el análisis espectral previo de un sonido para extraer los parámetros con los que controlar el sintetizador.

Sus inconvenientes son, por un lado, la enorme cantidad de osciladores y generadores requeridos por cada nota, lo que le hace un sistema muy caro. Por otro, no permite reproducir las partes de un sonido no lineales, como "clicks", "buzzs", etc., lo que confiere a los sonidos características poco naturales.

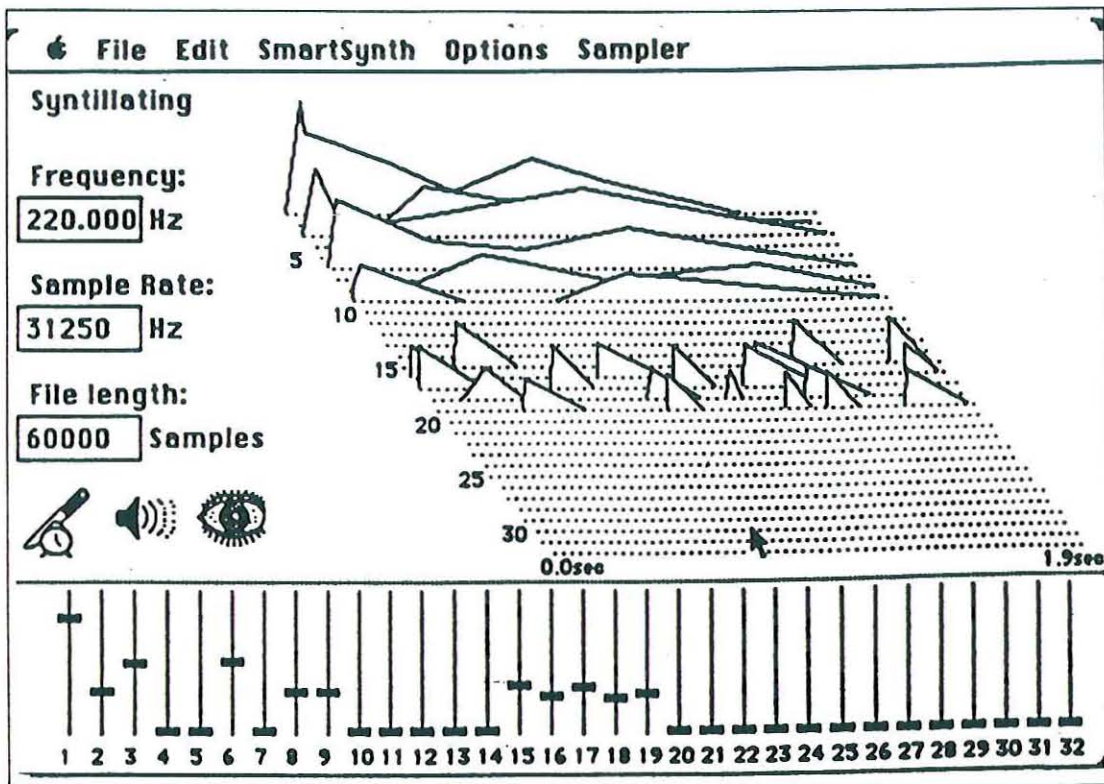


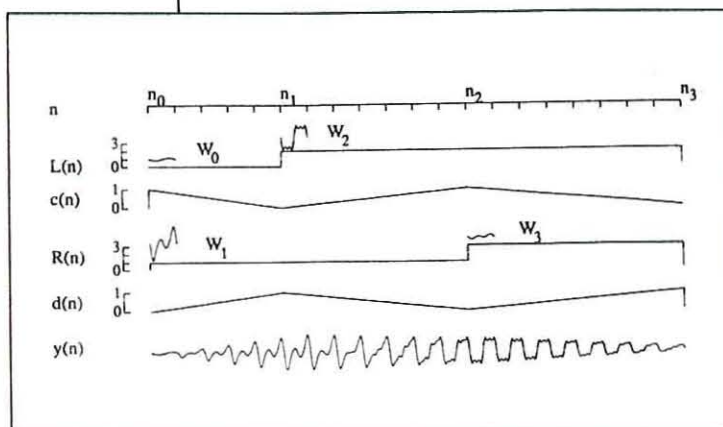
fig.3: Síntesis espectral por ordenador

En una investigación reciente, realizada por un español en la universidad de Stanford, se consideran los sonidos compuestos de dos componentes, uno estocástico (ruidos, etc.) y otro armónico. Se describe un proceso de análisis y otro de síntesis. En el análisis de un sonido se determina primero su componente armónica, la cual una vez calculada se sustrae del sonido original, restando la componente aleatoria o estocástica. Ambas se utilizan posteriormente para reproducir el sonido. Este método utiliza la transformada de Fourier de Tiempo

Breve (STFT = Short Time Fourier Transform). Se consiguen resultados muy reales con amplias posibilidades de modificación de los parámetros del sonido.

Este método tiene bastante relación con la "Interpolación Espectral". Todos ellos se implementan en realidad de forma discreta, al combinarlo con el sistema de muestreo que se describe a continuación.

Fig.4: Interpolación de ondas sucesivas



El muestreo (sampling)

Es el sistema de moda. Es la utilización de la fuerza bruta digital, por el procedimiento de "digitalizar" (convertir valores de tensión analógicos a códigos digitales). Se utilizan resoluciones de 12 ó 16 bits por cada muestra, y velocidades de muestreo variables entre 10 y 50 Kilohercios, lo que según el teorema de Niquist permite anchos de banda desde 5 a 20 Kilohercios.

Los sonidos así grabados en una memoria son después reproducidos por un sistema de DMA's con los correspondientes convertidores Digital/Analógicos. La frecuencia de reproducción varía de acuerdo con la frecuencia de la nota que se desea interpretar, siendo usualmente un múltiplo de 5 a 20 veces ella. Los equipos actuales incorporan memorias de una capacidad entre 0.5 Megabytes y 2 Mb, aunque se puede ampliar más en la mayoría de los casos.

Después de grabar un sonido se requiere usualmente una "edición" para cortar, empalmar y preparar un segmento de muestra que al reproducirse obtenga el efecto deseado. A veces se utiliza esta técnica para obtener sonidos completamente diferentes al original.

Entre sus ventajas están las posibilidades de manejo que proporciona la técnica digital, y que se consiguen sonidos muy "naturales", lo cual es lógico, pues se toman directamente del original.

A pesar de ello, los sonidos reales (de un piano, por ejemplo) efectúan sutiles cambios en función de la altura de la nota, su intensidad, y los efectos de resonancia entre unas notas y otras, lo que hace también imposible conseguir una imitación perfecta con este método. Además, se obliga a utilizar sistemas de almacenamiento de sonidos de gran capacidad (discos y diskettes). El tiempo de carga de nuevos sonidos en los sistema con diskette se hace excesivamente largo y engorroso, sobre todo para las actuaciones en directo. La aparición de librerías de sonidos en CD_ROM empieza a ser una solución a este problema.

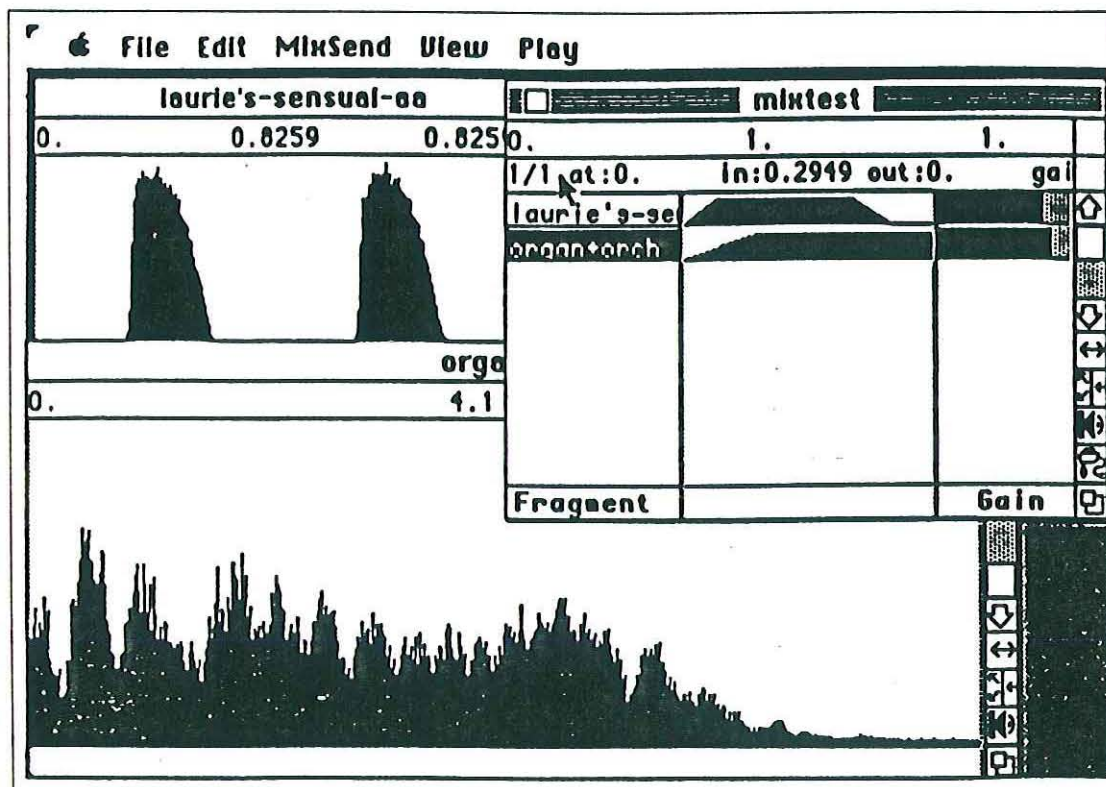


Fig.5: Editor de muestras

Sintetizadores Actuales

Las técnicas descritas anteriormente se utilizan en realidad de forma combinada en los instrumentos disponibles actualmente. Por ejemplo, el "control de envolvente" proveniente del viejo "mini-MOOG" se sigue utilizando casi en la totalidad de los sintetizadores de hoy. Otro recurso muy usado en los procedimientos de síntesis analógica o aditiva es utilizar pequeñas secciones de "muestreo" (de unos cientos de milisegundos a lo sumo) para completar los sonidos con secciones tomadas de los instrumentos reales y hacerlos así más verídicos.

La implementación es prácticamente digital en su totalidad. Se emplean procesadores dedicados (DSP) para el proceso de señal, donde los bloques analógicos antiguos son simulados por programas de DSP. Además llevan un microprocesador de control que efectúa el interfaz con el músico y lleva a cabo las programaciones del equipo. Es corriente incorporar diskette para el almacenamiento de los datos o sonidos.

La técnica digital ha permitido aumentar enormemente la versatilidad sonora de los sintetizadores. Los modelos primitivos eran *monofónicos*, significando que solo podía sonar una nota al tiempo. Actualmente todos son *polifónicos*, con 6, 8, 16, hasta 32 notas simultáneas. Además permiten cosas como por ejemplo la subdivisión del teclado por zonas, efectuando la ejecución de un instrumento distinto por cada zona. Los instrumentos *multitimbricos* pueden ejecutar diversos instrumentos (piano, flauta, bajo,...) simultáneamente

La ejecución se ha mejorado bastante porque el teclado, inicialmente un simple contacto, ha sido dotado de *sensores de velocidad* (uno por cada tecla), *presión*, efectuada sobre la tecla ya pulsada, (uno por teclado y a veces uno por cada tecla) e incluso en los modelos muy sofisticados sensores de *movimiento lateral* de las teclas, o bien *contrapesos* cuando se desea imitar el tacto del piano.

Como "extras" que se incorporan a estos equipos, es bastante corriente dotarles de un *secuenciador*, que graba frases o melodías interpretadas por nosotros y nos permite reproducirlas después, lo que puede utilizarse en la composición de canciones. También se incorpora una sección de *instrumentos de ritmo*, 20 ó 30, que están grabados con técnica PCM, y que pueden ser interpretados directamente desde teclado o grabados en el secuenciador.

Otros Instrumentos

No solo los sintetizadores se han beneficiado de los avances en síntesis de sonidos. Las percusiones, las guitarras, flautas, etc, disponen todos ellos de métodos de controlar sintetizadores modulares, o sea aquellos que carecen de teclado. En general, el instrumento deseado se debe conectar a un procesador de sonido, el cual extrae las características fundamentales de la interpretación, como son las notas interpretadas, su intensidad y algún otro parámetro.

En el caso de las guitarras ello se hace disponiendo una pastilla especial (una por cada cuerda) que recoge las vibraciones y las procesa. Para la percusión se dispone un micrófono por cada elemento (bombo, cajas, etc) o mejor se utilizan unas plataformas con sensores eléctricos que sustituyen a aquellos.

Lo cierto es que en los grupos modernos de Pop, Jazz, música popular, (incluso orquestinas de pueblo) los sintetizadores se utilizan con profusión, o bien directamente o bien "disfrazados" de otros instrumentos como hemos visto. Incluso se suprimen músicos sustituyéndolos por ordenadores, aunque es un tema que se tratará en el próximo capítulo.

Los Computadores Personales

En la década de los 80 se ha producido la revolución de la computación a nivel personal. La bajada de los precios y el aumento de la potencia de las máquinas y del software permiten disponer a cualquier persona, profesional, aficionado, de la herramienta programable por excelencia.

Ello, unido al desarrollo del interfaz universal para instrumentos musicales electrónicos, el MIDI, ha creado un gran mercado para música. También ha difundido el uso de herramientas avanzadas para aprendizaje, composición e interpretación.

El MIDI

El "Musical Instrument Digital Interface" equipa hoy prácticamente la totalidad de los instrumentos digitales que se venden, desde órganos de 20.000 pts, hasta guitarras, percusiones, mesas de mezclas, sistemas de luces, etc., y por supuesto ordenadores personales de todos los tipos.

Es algo así como "la Red Local Musical". La transmisión de datos se lleva a cabo en serie, a una velocidad de 31.25 kilobits por segundo, pudiendo encadenarse cuantos aparatos se quieran.

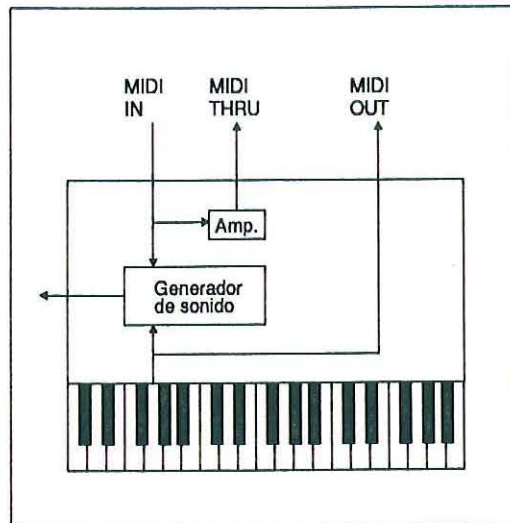


Fig.6: Teclado MIDI

El contenido de la información transmitida está estructurada en diversos grupos:

- **Notas** (canal, valor, intensidad, estado (ON/OFF))
- **Reloj** (arranque, tempo, sincronismo, parada, ...)
- **Efectos** (modulación, portamento, volumen, panorámica, ...)
- **Control** (canal, programa, modo de ejecución, puntero de canción, ...)
- **Exclusiva** (depende de cada fabricante)

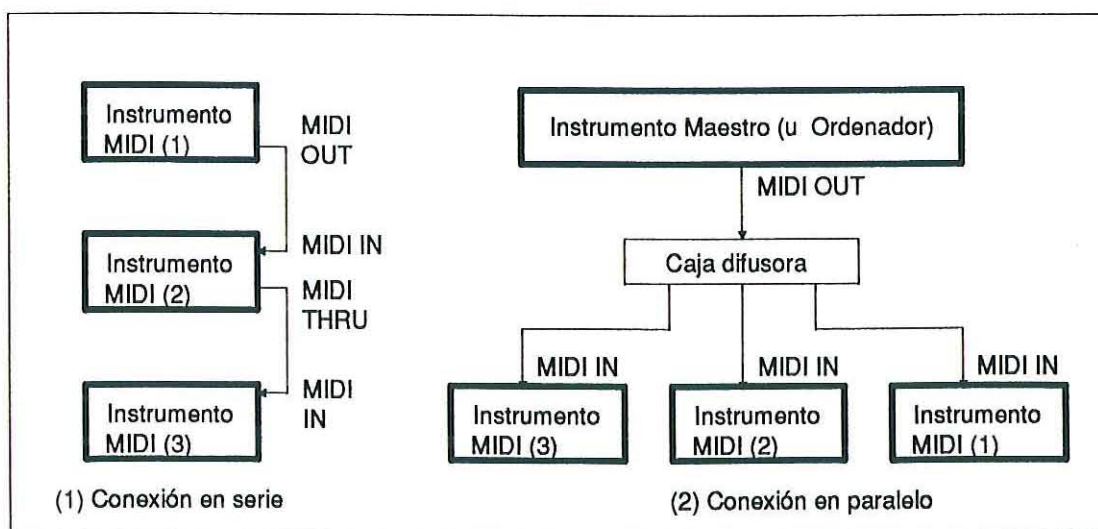


Fig.7: Conexión de instrumentos MIDI

El MIDI permite disponer de 16 canales independientes, viajando por cada canal las notas, efectos, control, ... de un instrumento determinado. Con él nuestra orquesta queda reducida pues a 16 instrumentos, aunque existen extensiones para controlar hasta 64. El rango cubre 128 notas (10,5 octavas) y la dinámica 127 dB.

La forma usual de conexión es disponer la salida de un teclado maestro conectado al ordenador, y la salida o salidas de éste a los instrumentos en modo cascada. Los aparatos están aislados entre sí al disponerse de optoacopladores en cada conexión (según la norma), lo que impide problemas de masas y cortocircuitos.

La sencillez del protocolo permite su implementación en cualquier aparato, lo que lo ha convertido en estándar "de facto". Incluso existen conversores para instrumentos acústicos, como guitarras, flautas o incluso voz humana.

Los Ordenadores más utilizados

El ordenador más popular en cuanto a música es el ATARI ST. La única explicación para ello es que incorpora el interfaz MIDI de fábrica. Ello, unido a su bajo precio (aunque lleva un 68000 y 1 Mb de RAM) ha provocado la aparición de numerosos paquetes de software y un nutrido grupo de usuarios. La utilización de un sistema operativo orientado a iconos y un ratón facilitan mucho el acceso informático a los usuarios legos, como es el caso de muchos músicos.

Estas mismas características, excepto el precio, son compartidas por el Macintosh, siendo éste el equipo utilizado por aquellos usuarios que requieren una mayor calidad o potencia, y también para la experimentación. El Macintosh no dispone, sin embargo, de MIDI incorporado, por lo que hay que pagar el acoplador necesario.

El AMIGA también empieza a ser útil para éstas aplicaciones, aunque no dispone de interfaz MIDI y no es tan potente como el Macintosh, además es más caro que el ATARI. Se utiliza principalmente en aplicaciones combinadas video/música.

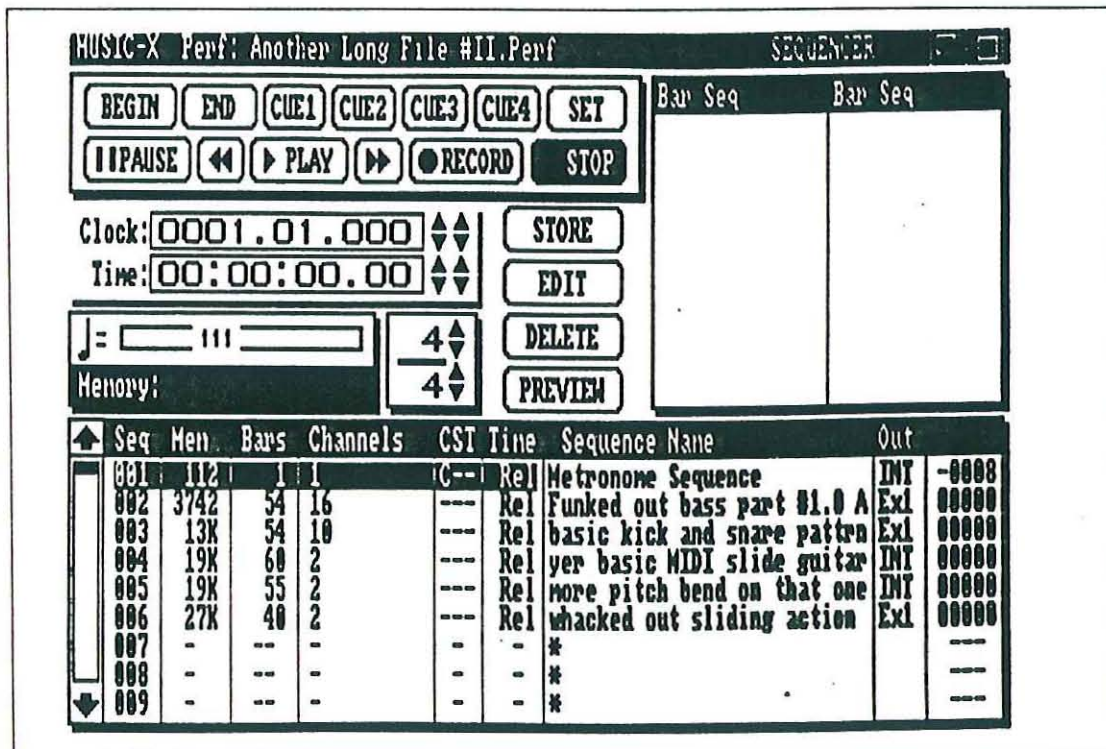


Fig. 8: Secuenciador basado en PC

Por otra parte, la saga PC de IBM ha cosechado sorprendentemente escaso éxito en este terreno. Quizás es porque no dispone de ninguno de los atributos anteriores. No lleva MIDI, no tiene un sistema operativo orientado a iconos, ha de soportar la limitación de los 640K de RAM y no es especialmente barato.

El Software

Para un ordenador de los anteriores existen un conjunto de programas utilizables por los músicos, que pueden llegar incluso a varios cientos en el caso del ATARI. Existen varias clases de programas "típicos":

- *Secuenciadores*. Básicamente se limitan a grabar y reproducir secuencias interpretadas por el músico, de forma semejante a un magnetofón multipista. Es normal disponer de 16 o 64 pistas, cada una de ellas puede contener todos los canales MIDI, así como eventos de efectos, control, programación, etc. Existen posibilidades de "FILTRADO", como la supresión o selección de determinados eventos (por ejemplo los mensajes Exclusivo), de "CUAN-

TIFICADO", es decir, redondeo de las pulsaciones de notas y su duración para encajar las notas en los compases. Esto se hace porque la resolución temporal del ordenador (menor que 1 milisegundo) es mucho más grande que la del intérprete humano, y la cuantificación permite limar los defectos microscópicos en la interpretación. Su valor es programable (semicorcheas, fusas, etc). Las funciones de "EDICION" copian trozos de una pista sobre otra, trasponen la tonalidad musical, etc.

- *Editores de partituras*. Esto conforma un segundo grupo, a menudo enlazado con el anterior. El músico dibuja la canción sobre una partitura clásica, o bien importa las notas de un programa de secuenciación de los anteriores. A partir de aquí puede ser impreso, volcado directamente por MIDI o revertido al secuenciador para continuar con la composición. La partitura admite todo tipo de símbolos o calificadores utilizados por los músicos, y contemplados en la ejecución. Existen también editores musicales para tramas de percusión, o tipo "pianola" (las 12 notas de la escala contiguas), y muchos otros tipos experimentales, aunque menos populares.

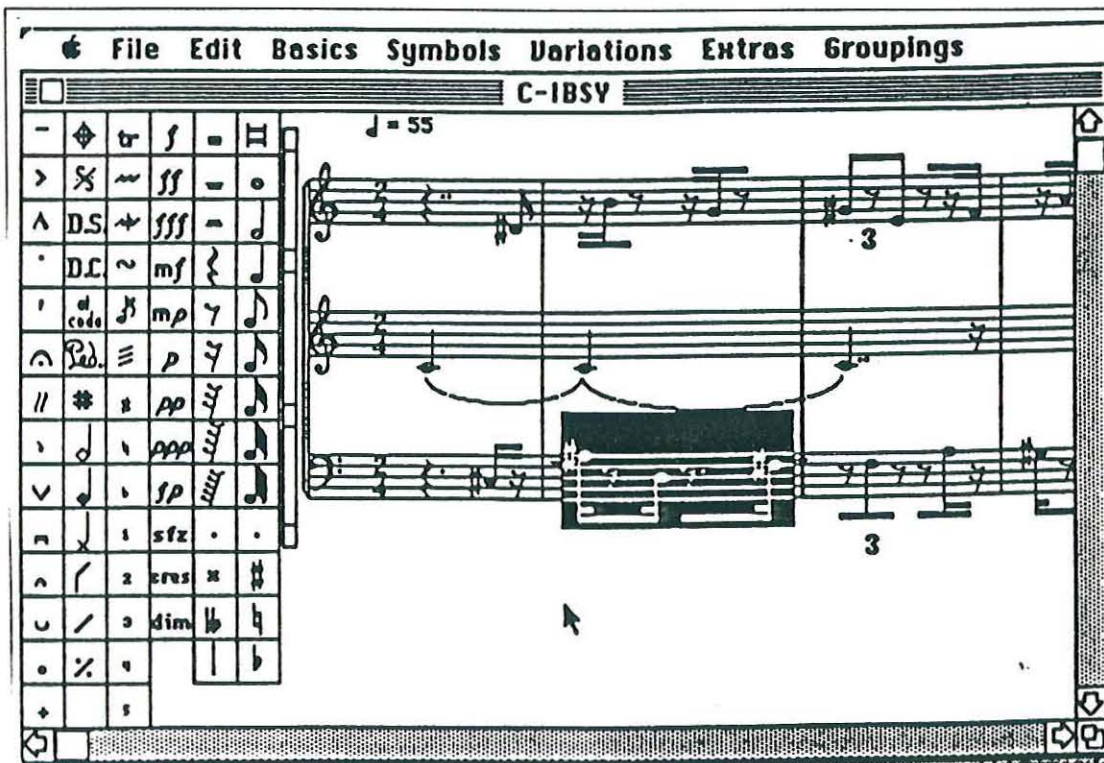


Fig.9: Editor de partituras para APPLE Macintosh

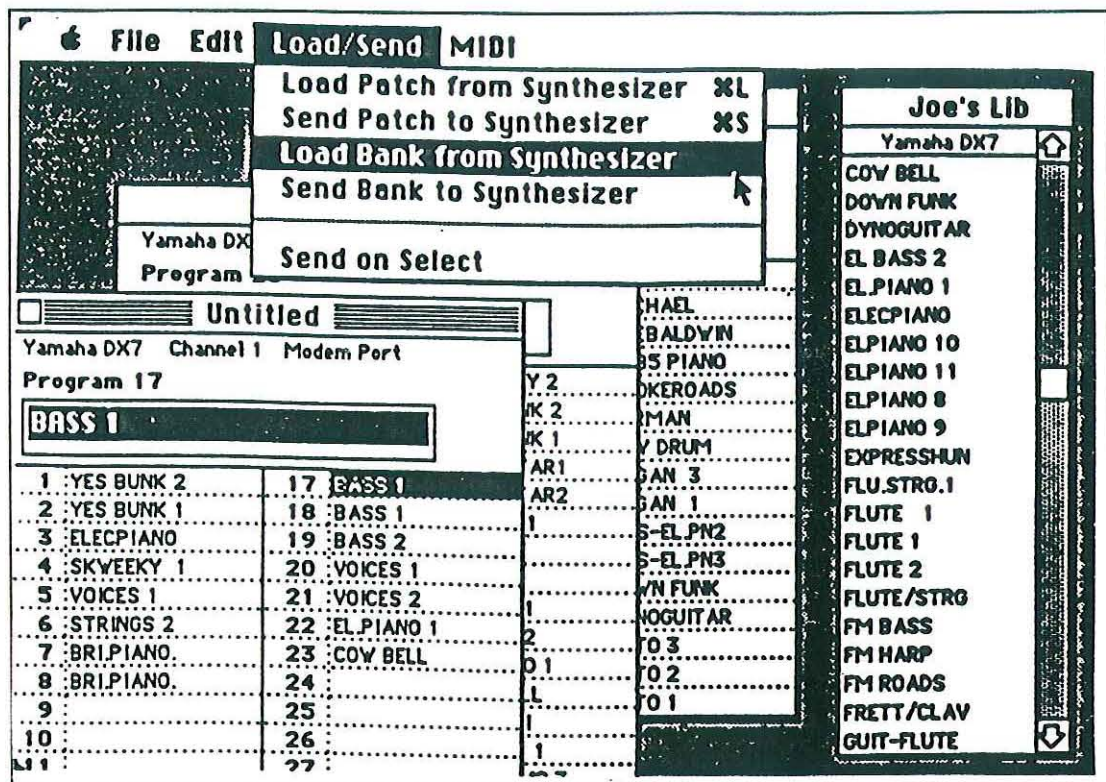


Fig.10: Librería de sonidos para YAMAHA DX-7

- *Editores de sonidos y librerías.* Estos programas dependen del equipo sonoro utilizado, y sirven para facilitar la programación de nuevos sonidos para un modelo de sintetizador. Ello mejora las limitadas posibilidades de edición del instrumento con una pantalla gráfica típica del ordenador personal. Además se pueden crear librerías de sonidos aprovechando la capacidad del disco del ordenador.

- *Editores de Muestras.* En algunos casos, el propio ordenador dispone de unidades de muestreo y reproducción, para los cuales aparecen editores muy interactivos, pues permiten comprobar de inmediato las operaciones que se están efectuando. En algunos casos, estos edi-

tores "simulan" la operación de un sintetizador de otro tipo, por ejemplo de FM o analógico, mediante el cálculo del conjunto de muestras que correspondería a las programaciones simuladas de uno de estos equipos.

- *Ayudas a la ejecución en directo.* En este caso se pueden programar encadenadamente el conjunto de canciones de una actuación, así como las programaciones de cada equipo en cada una de ellas. También se incorpora a la programación el control del juego de luces utilizado, cuando el grupo no es tan famoso como para pagarse un buen iluminador.

File Edit **Load/Send**

On/Off	1	Car	<input checked="" type="checkbox"/>	Load Voice from DX7	4	Mod	<input checked="" type="checkbox"/>	5	Mod	<input checked="" type="checkbox"/>	6	Mod	<input checked="" type="checkbox"/>			
EGRate	60	0	12	6	0	95	92	28	60	50	70	97	0			
EGLev	99	90	97	0	0	99	90	0	0	99	65	60	0			
Scaling	0	F2	0	0	1	0	A3	60	0	F2	0	0	F2			
Curve	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin	-lin			
Output Level	99	Vel RSc AM	3	1	0	72	Vel RSc AM	7	3	2	89	Vel RSc AM	2	3	0	
Freq	M	Coar	Fine	Det	M	Coar	Fine	Det	M	Coar	Fine	Det	M	Coar	Fine	Det
	r	1.00	+1		r	1.00	-1		r	1.00	0		r	1.00	0	
Op 5 Keyboard Rate Scaling				Algorithm 18				KeyTP C3		Pitch EG						
								Feedback 5		Rate 0 0 0 0		Level 50 50 50 50				
								Key Sync On								
								LFOVave Spd Del PMD AMD PMS Sync								
								Sine 37 42 7 99 1 Off								
File: Joe's Sounds 3 1: FLUTE 1																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	

Fig.11: Editor de sonidos para DX-7

Arquitecturas, Lenguajes y Sistemas Operativos.

Bueno, y ahora todos ustedes se preguntarán: "¿Y esto cómo se implementa?". Por supuesto, la respuesta es: "Depende". Precisamente por el aspecto multifacético de la música existen diversidad de soluciones óptimas, diferentes según el problema planteado.

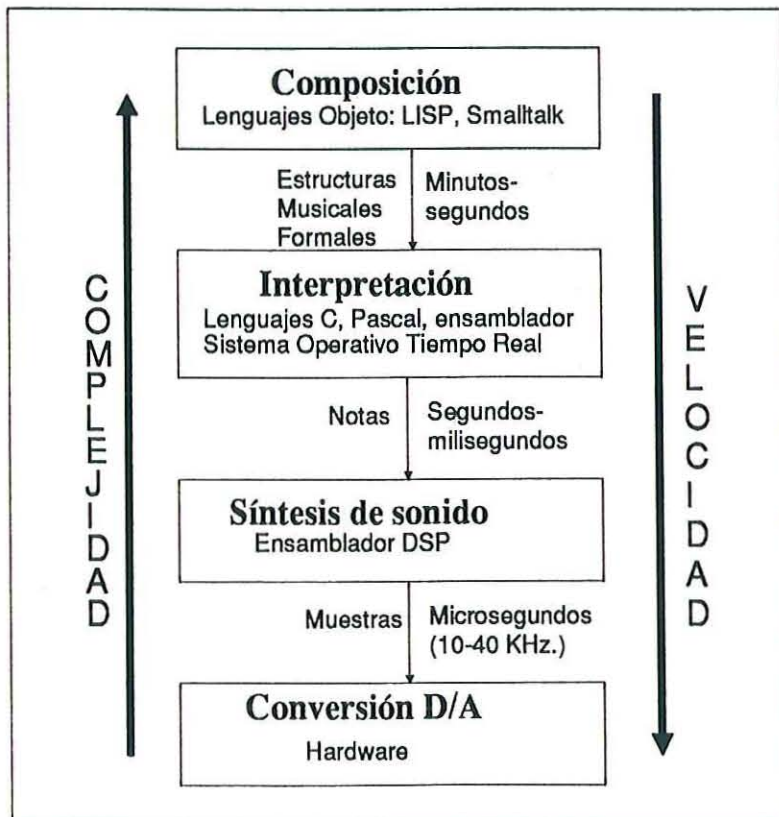
Tomemos por ejemplo los primeros tiempos. En los años 60 y principios de los setenta, el principal "nicho" de computación eran los llamados "mainframes". En ellos el usuario se limitaba a preparar trabajos en "batch" y a esperar su turno para recoger el listado correspondiente. Pero cuando se trata de hacer música, el sistema no vale. Hay que obtener el sonido correspondiente. Por ello se sustituye la salida por impresora por un convertidor D/A que va grabando las muestra en una cinta magnética. Sin embargo el proceso sigue siendo "batch", para generar unos minutos de

música se necesitan horas de CPU. Es lo que llamaremos un sistema en "tiempo diferido" (en oposición a "tiempo real"). El sistema operativo era el clásico de aquellos sistemas.

Como consecuencia, se desarrollaron lenguajes específicos para música parecidos al COBOL o FORTRAN de entonces, el más conocido de los cuales es el *MUSIC V*. Este incluía sentencias de definición de los generadores de sonido a emplear y de las notas a ejecutar en un determinado pasaje. Una vez compilado y ejecutado, el resultado del programa eran un conjunto de muestras almacenadas en disco que era preciso convertir a sonido a continuación mediante un programa auxiliar y unos convertidores DAC. La interacción músico-ordenador era lenta y tediosa, y el propio lenguaje sugería poco más que la transcripción de pasajes musicales a códigos binarios.

Sin embargo, la música requiere un alto grado de interactividad y expresión. Por ello, a principios de los años 70 se desarrollan dos primeros **sistemas interactivos**, el *GROOVE* en los laboratorios de la AT&T y *A Computer Aid for Musical Composer* en el National Resarch Council of Canada.

Figura nº 12 .
Niveles de
Arquitecturas
musicales



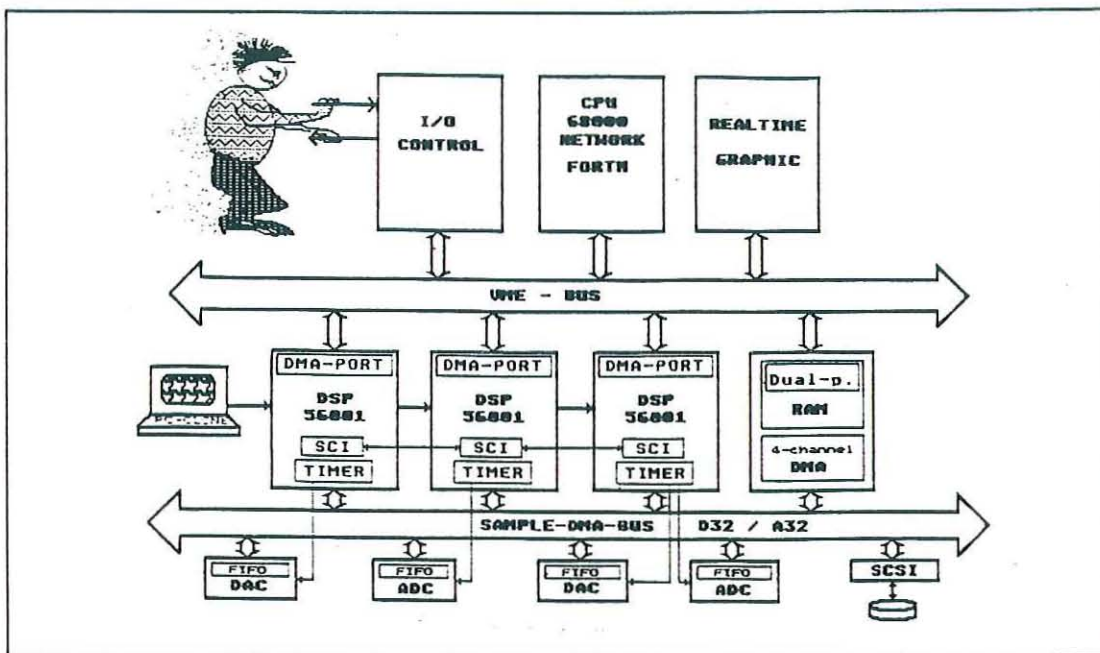


Fig.13: Sistema de síntesis multiprocesador basado en DSP

Ambos sistemas incorporaban los siguientes avances:

- Pantalla gráfica en color orientada a menús con presentación de formas de onda y partituras.
- Interacción musical por medio de teclado (de ordenador), lapiz óptico, conmutadores, y teclado (musical)
- Efecto inmediato de las operaciones del músico sobre los sonidos escuchados y sobre la pantalla de control.

Estos sistemas eran claramente pioneros en su tiempo, no solo como aparatos musicales, sino también en la integración de tiempo real, gráficos, dispositivos de control y síntesis digital. Hoy día podemos ver las diferentes soluciones adoptadas para los ordenadores musicales

Síntesis de Sonido

En este aspecto, el estado del arte en tecnología *Hardware* determina las soluciones. El corazón de estos sistemas suele ser uno o varios DSP (**D**igital **S**ignal **P**rocessor), de 16/32 bits, con unas capacidades de hasta 10 Mips (millones de instrucciones por segundo), como por ejemplo:

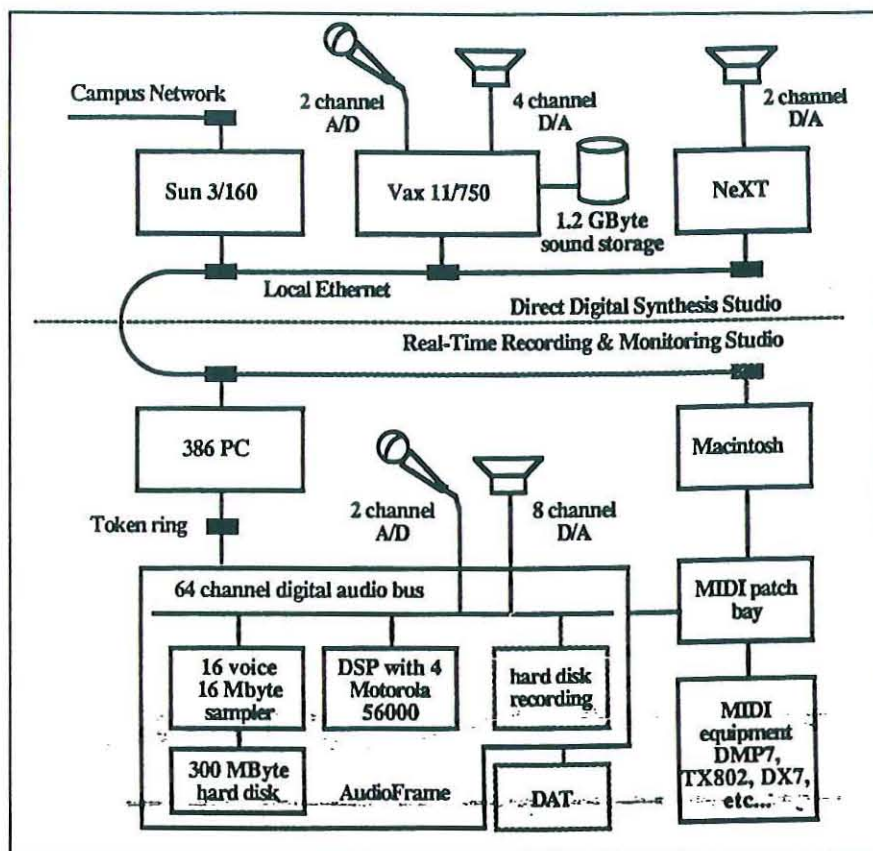
- FUJITSU MB8764

- TEXAS TMS320
- NEC 7720
- MOTOROLA DSP 5600X/9600X

También se utilizan frecuentemente los **VLSI** (gate arrays, full custom ...) diseñados por las casas constructoras de equipos musicales. De esta manera se consiguen las máximas prestaciones, a la vez que se protege el sistema contra copias. Los algoritmos sonoros se encuentran "enterrados" en los citados chips en forma de programas ROM para los DSP o bloques digital/análogos. Otros complementos indispensables son los **canales de DMA** de alta velocidad (50 Kilopalabras/sec) y alta precisión (mayor que 1 microsegundo) así como convertidores A/D y D/A de 16, 20 y hasta 24 bits. Estos convertidores poseen una calidad igual o superior a los requeridos por los reproductores de Compact Disk.

La programación se realiza normalmente en ensamblador para los DSP, aunque empiezan a utilizarse otros lenguajes (PLM, C,) para los microprocesadores de propósito general que controlan a éstos. La acción del músico, en estos casos, se suele ver limitada a la alteración de los parámetros de cálculo, o a la configuración de los bloques funcionales de cada fuente de sonido. Los programas vienen definidos de fábrica, aunque en determinados modelos experimentales se prueban nuevas teorías y formas de síntesis.

Fig.14:
Centro de desarrollo musical basado en LAN



Interpretación de notas

En algunos casos, el sistema de proceso de señal se monta de manera modular en tarjetas conectables a un BUS de un microordenador, que efectúa la generación musical a nivel de nota, no de sonido como los anteriores. Aún aquí, los requerimientos de tiempo son muy estrictos, pues se considera recomendable una respuesta en tiempos del orden del milisegundo para la ejecución musical y captación de las operaciones del músico. Se suele utilizar un **sistema operativo en tiempo real** que permita operaciones de entrada/salida controladas por interrupción y activación de **eventos** en instantes determinados, así como priorización de **tare**as.

Uno de los sistemas más difundidos para la generación de notas es el *MOXIE*. En principio se escribió en lenguaje XPL para el sintetizador NEDCO. Posteriormente se ha trasladado al IBM-PC en el CMU MIDI TOOLKIT escrito en C y al ATARI-ST escrito en FORTH. El *MOXIE* consiste en un conjunto de rutinas en tiempo real para el tratamiento de eventos, así como los constructos adecuados en cada lenguaje para la progra-

mación de esos eventos. Los eventos pueden ser generados por el intérprete, por una señal desde otro evento, o por una señal retardada desde el propio evento.

Otros sistemas en desarrollo plantean la **arquitectura multiprocesador** con el conjunto de funciones compartida por los usuarios de una red. Los microcomputadores conectados a la red utilizan **lenguajes intérprete**, sobre todo FORTH, u otros basados en él, como el FORMULA.

Lenguajes de Alto Nivel

A medida que avanzamos en complejidad, necesitamos herramientas que manejen adecuadamente la compleja estructura musical. Después de numerosos intentos, se está imponiendo la denominada "**programación orientada al objeto**" (Object Oriented Programming System- OOPS). Mientras en un programa clásico se definen un conjunto de variables que son procesadas por algoritmos, en un OOPS se definen objetos compuestos de datos y procedimientos asociados. Los

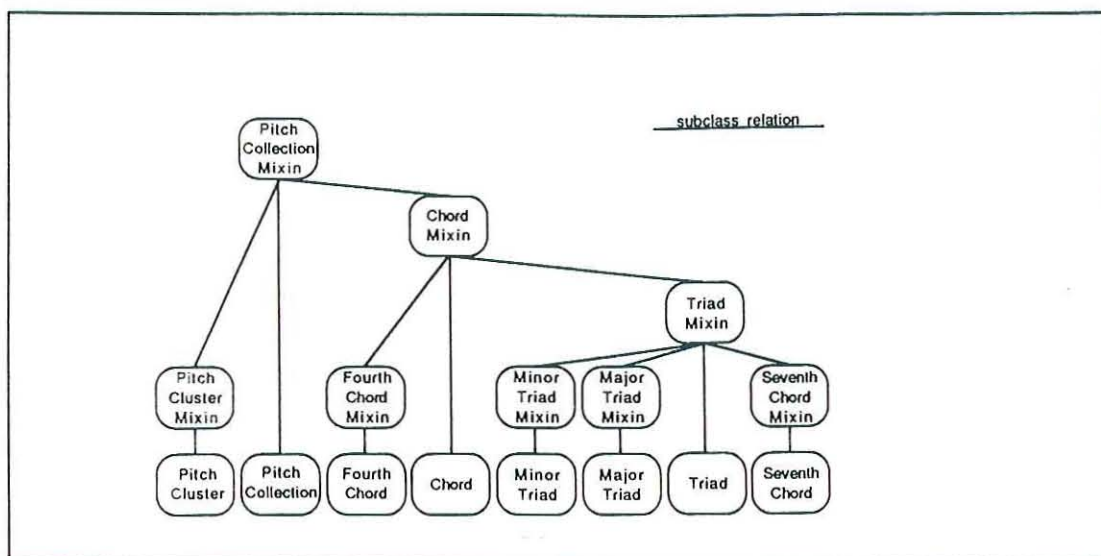


Fig.15: Jerarquía de acordes para Programación de Objetos

objetos interaccionan entre sí por medio de mensajes. A su vez, los objetos se estructuran en familias en forma de árbol. Los lenguajes OOPS más conocidos son el LISP y el SMALLTALK.

Estos lenguajes normalmente carecen de constructos adecuados para poder manejar bien el tiempo. Por ello se crean otros lenguajes o entornos específicos, de los que se dan algunos ejemplos:

PLA. Es un lenguaje de alto nivel que produce a su salida sentencias tipo MUSIC V. Facilita la labor del compositor de varias maneras:

- Diversos tipos de representación de los datos, en forma alfanumérica y funcional.
- Soporte de **proceso paralelo** para la interpretación polifónica.
- Facilidades de edición de todas las representaciones.
- Entorno interactivo en tiempo real.
- Librerías de funciones útiles.

PLA está escrito en lenguaje SAIL.

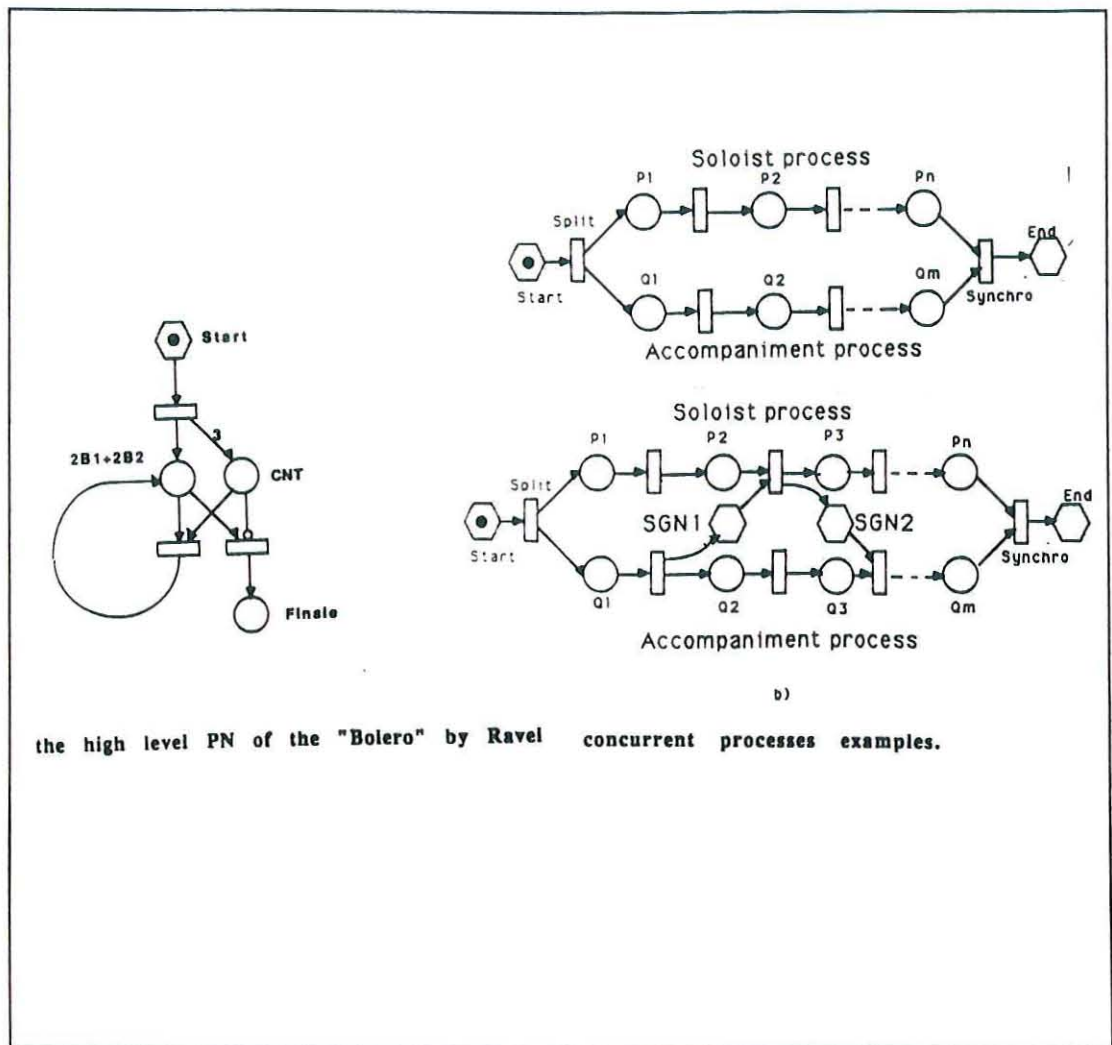
FORMES. Es un lenguaje escrito en VLISP. Tiene la ventaja sobre el PLA que su lenguaje básico soporta metáforas de objetos. Sus autores dicen que facilitará construir "**modelos de conocimiento**" de la música. Los objetos musicales están organizados en un árbol

dinámico que se va alterando con el transcurso del tiempo. El objetivo de FORMES es construir un modelo de programación creativo que contenga librerías de objetos predefinidos, herramientas de manejo, y un método lógico de expansión de su base de conocimiento.

Un lenguaje muy utilizado hoy día para elaborar sistemas inteligentes musicales es el SMALLTALK y sus derivados (HYPERTALK, etc.). El método seguido consiste en ampliar los conjuntos de objetos soportados por el lenguaje con todos los necesarios para llevar a cabo tareas musicales. Estos dependerán del objetivo último (composición, reconocimiento, etc.).

Los objetos manejados (notas, acordes, pentagramas) disponen de un conjunto de primitivas u operaciones asociadas con ellas, que permiten las operaciones clásicas (transposición, inversión, cuantificado, ...). También se elabora un entorno con múltiples representaciones de los mismos objetos, de forma que el músico elige el entorno más apropiado para las tareas a realizar.

El concepto de múltiples representaciones, organizadas jerárquicamente en muchos casos, se presenta como una constante en todos los sistemas en desarrollo actualmente. Ello es consecuencia de que la aproximación a la música se produce también desde multitud de motivaciones y búsquedas diferentes.



the high level PN of the "Bolero" by Ravel concurrent processes examples.

Fig.16: Redes de Petri utilizadas en composición musical

Así, por ejemplo, para la representación, análisis y composición de temas musicales se comienzan a utilizar lenguajes descriptivos gráficos, como las **Redes de PETRI**. Estas redes consisten en un conjunto de símbolos conectados entre sí, similares a los diagramas de estado, pero que permiten características más avanzadas como concurrencia y sincronización. Por ello han sido ampliamente utilizadas en la representación y simulación de protocolos de comunicaciones.

En la actualidad, las Redes de Petri se encuentran implementadas en sistemas informáticos que permiten utilizarlas para representar eventos musicales. De esta forma, utilizando un editor gráfico, el compositor efectúa un "diseño" de la composición y posterior audición de gran simplicidad y fuerza expresiva.

Inteligencia Artificial

El mundo de la Computer Music se encuentra en un momento de gran ebullición. Se está pasando de la visión "mecanicista" del ordenador, como una máquina con gran capacidad de memoria, muy rápida y muy exacta, pero esencialmente tonta, a la visión "humanista": ya se le pueden encomendar tareas sutiles, procesos de captación, evaluación y creación tradicionalmente reservados solamente a seres humanos.

La transición está viniendo casi impuesta por la fuerza de los hechos. Al intentar explotar más las capacidades de los ordenadores, aplicándolas a nuevas tareas, inevitablemente se entra en el campo de la captación de datos a base de de informaciones de entrada incompletas, en la necesidad de establecer juicios sobre los hechos que se perciben, en crear unas bases de conocimientos en base a un aprendizaje y en explorar alternativas no lineales, es decir, no consecuencia directa de la información disponible.

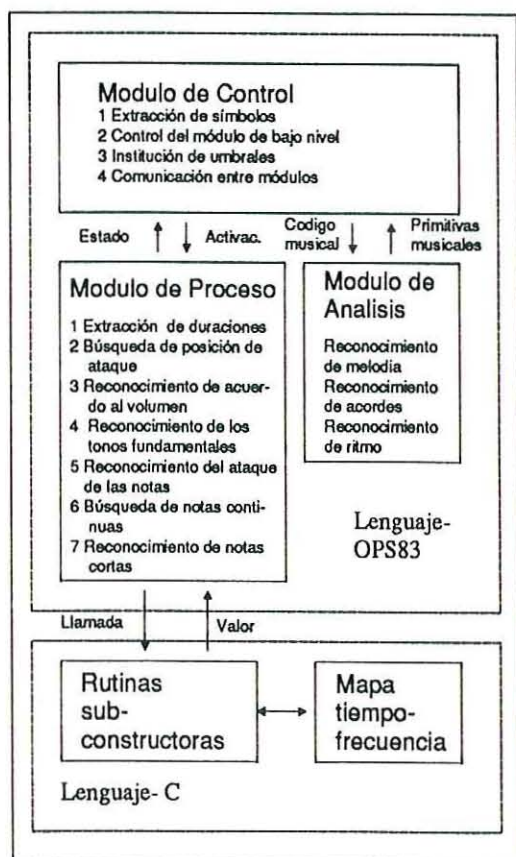


Fig.17: Estructura de un sistema de Transcripción musical

Esta búsqueda emplea por tanto herramientas nuevas más adaptadas a la función: los lenguajes utilizados empiezan a ser casi exclusivamente del tipo denominado "orientado al objeto": LISP, SMALLTALK, Prolog, o leguajes tradicionales con extensiones para soportar objetos: FORTH, Object C, C++. También se utilizan Sistemas Expertos con construcción de bases de conocimiento apropiadas por procedimientos de aprendizaje.

Debido a la enorme diversidad de proyectos en curso en este área, he considerado que lo mejor era ofrecer algunos de los ejemplos más significativos.

Captación Musical

El músico emplea tradicionalmente dos métodos de captación: audición de piezas o lectura de partituras. Hasta ahora los ordenadores no podían hacer ninguna de estas dos cosas, limitándose a grabar los códigos MIDI interpretados en un sintetizador. Sin embargo, ambos problemas han sido abordados en diferentes intentos.

La lectura de partituras, sin ser trivial, es el más simple de los dos problemas. En general, se sitúa una cámara de TV delante del papel y se van explorando los diferentes símbolos escritos en él. El reconocimiento es difícil por la amplia variedad de símbolos empleados y el hecho de que muchas veces aparecen deformados. Las técnicas empleadas intensivamente son las de reconocimiento de patrones, también muy empleadas en lectura de textos y en sistemas ópticos civiles y militares.

Un primer y espectacular ejemplo fué la construcción del robot WABOT, en Japón, capaz de leer e interpretar partituras en tiempo real. A pesar de ello, las partituras habían de ser especialmente preparadas.

Los experimentos actuales combinan el reconocimiento de patrones con la interpretación semántica de los datos obtenidos, desechando de esta manera los símbolos reconocidos pero sin sentido musical. Por este procedimiento se alcanzan tasas de reconocimiento de 94.2% en el "Para Elisa" de Beethoven.

Un desafío aún mayor es el reconocimiento de música desde audio, o transcripción musical. Los sistemas actuales consiguen discernir solamente instrumentos aislados monofónicos, como un saxofon, y recientemente polifónicos, como un piano o guitarra. En este último caso las tasa de reconocimiento están entre el 100 y el 80% (Alhambra en guitarra).

La exploración se sigue llevando a cabo en varios sentidos:

- Reconocimiento de patrones rítmicos
- Análisis cromático (tonalidades, acordes, etc.)
- Traducción música en BRAILLE a música en pentagrama y viceversa.

Seguimiento Musical

Es otro campo de gran interés actual. El ordenador conoce de antemano la partitura, y su trabajo consiste en seguir a un intérprete humano que la ejecuta en tiempo real. La aplicación evidente es el acompañamiento automático, cosa que ya existía, solo que actualmente era el músico el que se veía obligado a seguir el ritmo del ordenador.

En este terreno existen muchos trabajos con resultados bastante satisfactorios, aunque todavía requieren gran cantidad de proceso, más allá de los ordenadores personales disponibles hoy día. Al-

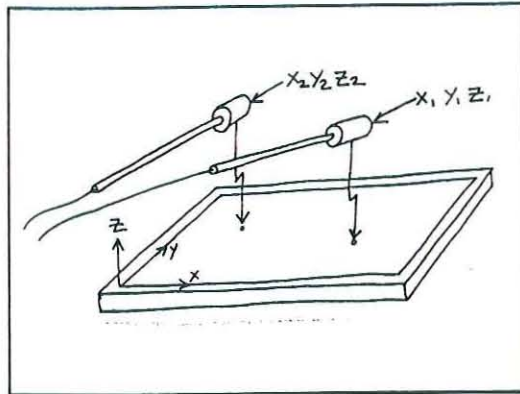


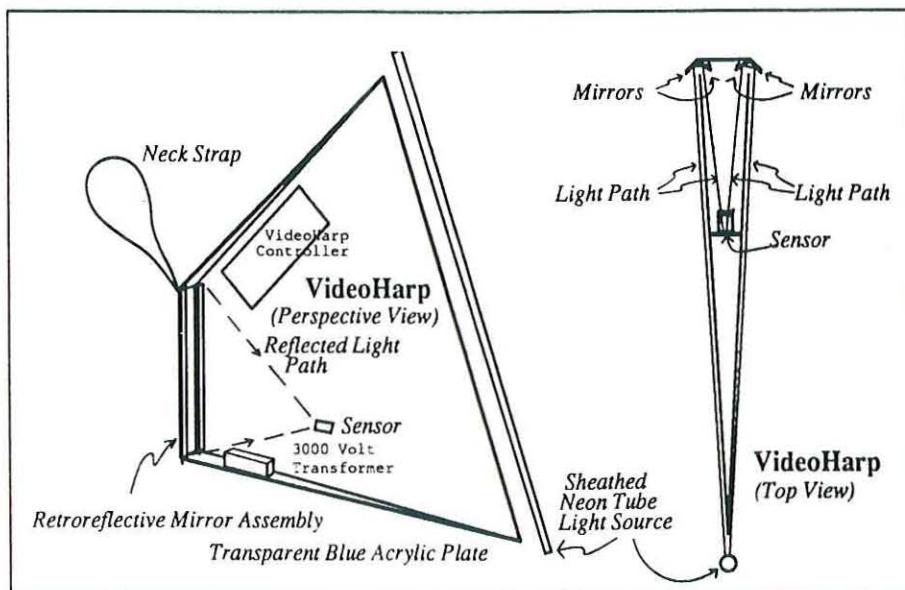
Fig.18: El Radio-tambor

gunos sistemas utilizan para ello redes de proceso paralelo de hasta 65000 procesadores, con métodos de calculo basados en redes neuronales (lógica difusa).

También se encuentran en activo desarrollo sistemas de interacción y control no basados en notas ni teclado, sino en "gestos" ejecutados por el director con instrumentos adecuados.

Así, se ha desarrollado una "batuta electrónica" que puede ser conectada al ordenador el cual seguirá la partitura según los gestos del director como si de un intérprete humano se tratara. También existe otro sistema que utiliza para ello una cámara de vídeo y un reconocedor de imágenes. Otros ejemplos curiosos son el "Radio-Tambor", manejado como un tambor, transmite las coordenadas espaciales (X,Y,Z) de las dos baquetas, así como

Fig.19: El Video-Arpa



los puntos de paso de unas zonas espaciales a otras. También el "Video-Arpa", con forma y manejo semejante a un arpa sin cuerdas, y que transmite informaciones similares al ejemplo anterior.

Todos estos sistemas se pueden emplear para sincronizar sistemas informáticos con interpretes humanos, así como para controlar parámetros de expresión de la música, como volumen de cada instrumento, situación espacial, tipos de sonidos, disparos de secuencias especiales, etc.

Análisis Musical

Este es otro campo de gran interés actual, aunque, al entrar en terrenos de subjetividad, involucrando emociones, sentimientos, aspectos psicológicos, es uno de los menos sistematizados.

Como ejemplo vemos el caso de la construcción de un sistema experto musical que a través de la escucha y lectura de música, va construyendo una base de conocimientos a la que luego aplica un proceso de análisis, extrayendo unas primitivas musicales (melodías, ritmos, acordes, estilos, tonalidades, etc.). De estas primitivas, se extraen unos parámetros denominados "cuasi-sentimientos" a través de la aplicación de un conjunto de reglas.

Otros sistemas utilizan métodos mas directos para extraer determinados aspectos musicales. Por ejemplo, en lugar de "timbre" o "sonoridad", ciertos autores prefieren analizar la "textura" del so-

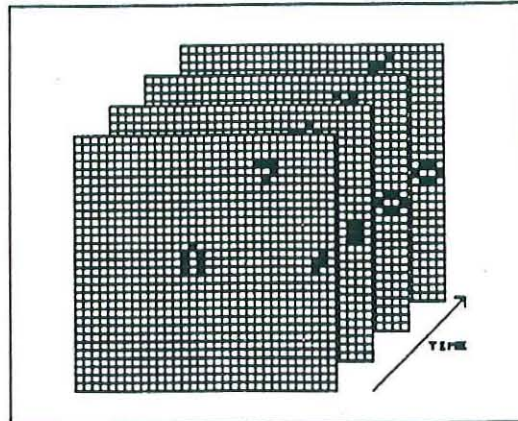


Fig.21: Evolución de un autómata celular

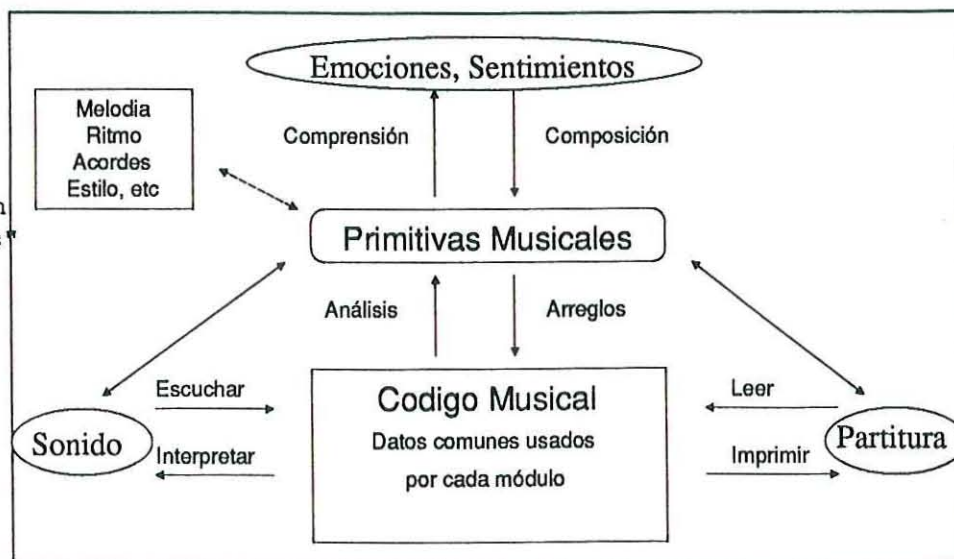
nido, por ser más general y aplicable a todo tipo de músicas (orientales y occidentales). Basado en ello se cuantifican las diversas texturas de obras musicales de todo tipo.

Composición Musical

En este campo disponemos también de multitud de intentos que podemos dividir en dos grupos.

El primero de ellos es la "Composición Algorítmica", es decir, el generar partituras o obras musicales a través del desarrollo de series matemáticas. Este campo viene de muy antiguo, y se han probado extensamente composiciones derivadas del estudio de "fractales" (MANDELBROT), los

Fig.20:
Sistema
experto
musical
con
"cuasi-sen-
timientos"



números primos, con resultados buenos en bastantes casos. Otra propuesta es la composición a partir de universos de autómatas celulares bidimensionales ("El juego de la vida").

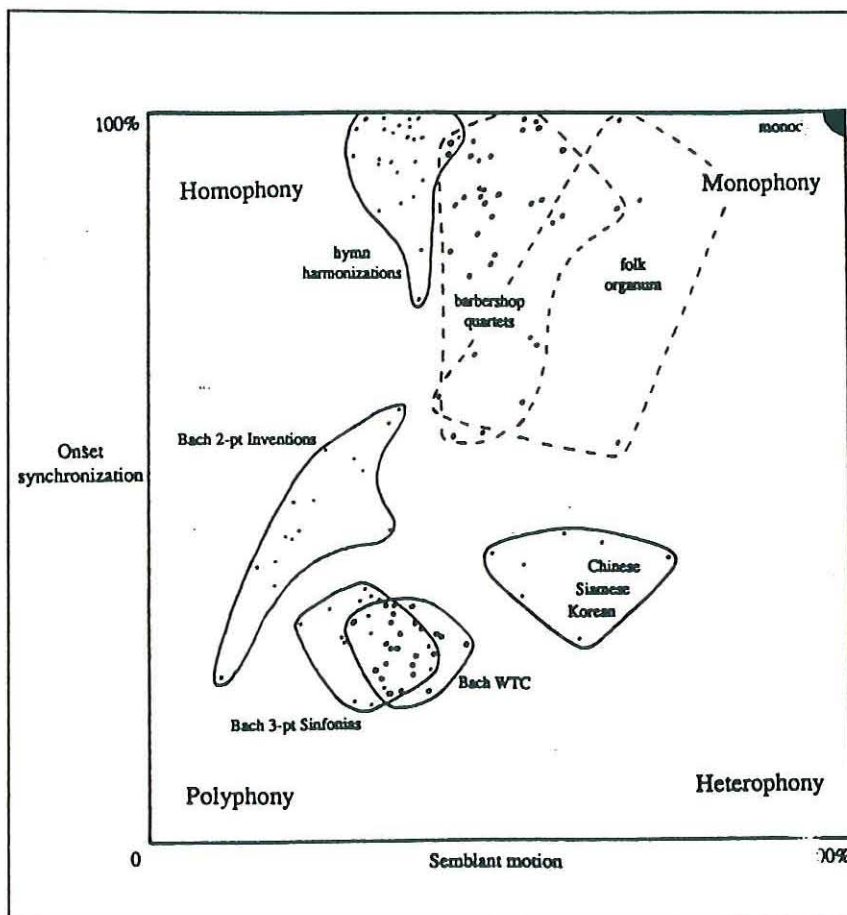
En otro orden de trabajo, se utilizan de nuevo las redes neuronales para la composición automática, con el algoritmo CBR (Creación por Refinamiento), que básicamente se compone de dos fases, una de aprendizaje y una de creación.

Otro importante grupo de trabajos se orienta ante todo a ofrecer al compositor humano un entorno para composición inteligente, que facilite las tareas rutinarias.

Existen algoritmos parciales destinados, por ejemplo, a ayudar a un compositor humano en la armonización de un tema, haciendo que los procesos de bajo nivel se realicen de forma automática.

La enseñanza musical asistida por ordenador utiliza de hecho muchas de las técnicas anteriormente mencionadas, combinadas y programadas por expertos con gran experiencia en el terreno de la enseñanza. El acompañamiento automático, por ejemplo, es de gran utilidad. De esta forma, las habituales prácticas y corrección de errores mecánicos son realizados en casa por el estudiante, que cuando acude a clase se concentra en nuevos conceptos.

Fig.22:
Apreciación de
la "textura"
musical



Conclusión

Como hemos visto, el mundo de la informática musical está en un momento de gran actividad, se explora constantemente en múltiples direcciones, y se utilizan las técnicas más modernas de arquitectura y programación. Los ordenadores personales, las estaciones de trabajo con entornos gráficos, las bases de datos distribuidas, los modelos de conocimiento, los lenguajes orientados al objeto, el reconocimiento de patrones, la inteligencia artificial y los sistemas expertos son todos ellos medios empleados para acercarse al músico y al ordenador, en un entorno tan complejo, sutil y creativo como la música.

Es mi opinión que los esfuerzos desarrollados en este campo impulsarán un gran avance en la informática y sus nuevas aplicaciones. Al tiempo, la integración de arte y ordenador está siguiendo un proceso paralelo. Aunque no han sido objeto de este artículo, los espectáculos multimedia, que

emplean música, vídeo, teatro, etc., son hoy día solamente posible gracias a los avances tecnológicos. Incluso surgirán otros nuevos que ni siquiera nos podemos imaginar. Cuando la técnica es utilizada de esta manera, ello sólo puede redundar en beneficio de la expresión y comunicación humana.

Lamentablemente, en nuestro país la situación no es tan halagueña. El motivo principal, como siempre, es que hay bastante gente interesada y con buen potencial, pero se encuentran dispersos, desconectados entre sí. La falta de un centro común, y de unas ayudas y programas de orientación y desarrollo es total. Oficialmente se sigue considerado toda inversión en estos temas como "arriesgada" y "superflua", cuando yo pienso que son precisamente la punta tecnológica y creativa que propulsará el desarrollo de la sociedad.

Referencias

Se han utilizado incontables fuentes de información. Pero el caudal principal viene de las cinco referencias siguientes, ordenadas de menor a mayor complejidad.

- [1] *Revista BYTE Junio 1986*. Número especial dedicado a los ordenadores y la música.
- [2] *ACM Computing Surveys. Volume 17, Number 2*. Número especial dedicado a los ordenadores y la música.
- [3] *Proceedings of the 14th International Computer Music Conference*. Koln (W. Germany) 1988.
- [4] *Proceedings of the 15th International Computer Music Conference*. Ohio (USA) 1989.
- [5] *European Workshop on Artificial Intelligence and Music*. Computer Music Laboratory. University of Genoa. Italia.

Desearía expresar mi agradecimiento a todos los compañeros de trabajo que han colaborado en la lectura y corrección de las pruebas, así como a mi profesor de piano Richard Krull y a Juan Antonio Lleó por el material y sugerencias aportados.

Para los que estén interesados en el tema, dispongo de los documentos citados y algunos más, así como diversos programas para el PC y ATARI. Por favor, ponerse en contacto conmigo, preferentemente a través de e-mail.: fserrano@fesa.es Espero vuestros comentarios.

Conclusion

Como hemos visto, el mundo de la informática musical está en un momento de gran actividad, se explora constantemente en múltiples direcciones, y se utilizan las técnicas más modernas de arquitectura y programación. Los ordenadores personales, las estaciones de trabajo con entornos gráficos, las bases de datos distribuidas, los modelos de conocimiento, los lenguajes orientados al objeto, el reconocimiento de patrones, la inteligencia artificial y los sistemas expertos son todos ellos medios empleados para acercarse al músico y al ordenador, en un entorno tan complejo, sutil y creativo como la música.

Es mi opinión que los esfuerzos desarrollados en este campo impulsarán un gran avance en la informática y sus nuevas aplicaciones. Al tiempo, la integración de arte y ordenador está siguiendo un proceso paralelo. Aunque no han sido objeto de este artículo, los espectáculos multimedia, que

emplean música, vídeo, teatro, etc., son hoy día solamente posible gracias a los avances tecnológicos. Incluso surgirán otros nuevos que ni siquiera nos podemos imaginar. Cuando la técnica es utilizada de esta manera, ello sólo puede redundar en beneficio de la expresión y comunicación humana.

Lamentablemente, en nuestro país la situación no es tan halagueña. El motivo principal, como siempre, es que hay bastante gente interesada y con buen potencial, pero se encuentran dispersos, desconectados entre sí. La falta de un centro común, y de unas ayudas y programas de orientación y desarrollo es total. Oficialmente se sigue considerando toda inversión en estos temas como "arriesgada" y "superflua", cuando yo pienso que son precisamente la punta tecnológica y creativa que propulsará el desarrollo de la sociedad.

Referencias

Se han utilizado incontables fuentes de información. Pero el caudal principal viene de las cinco referencias siguientes, ordenadas de menor a mayor complejidad.

- [1] *Revista BYTE Junio 1986*. Número especial dedicado a los ordenadores y la música.
- [2] *ACM Computing Surveys. Volume 17, Number 2*. Número especial dedicado a los ordenadores y la música.
- [3] *Proceedings of the 14th International Computer Music Conference*. Koln (W. Germany) 1988.
- [4] *Proceedings of the 15th International Computer Music Conference*. Ohio (USA) 1989.
- [5] *European Workshop on Artificial Intelligence and Music*. Computer Music Laboratory. University of Genoa. Italia.