

6. Conceptos avanzados de procesamiento digital de audio

6.1. Introducción

En el anterior capítulo hemos estudiado algunas de las posibilidades más sencillas en la edición digital de audio. En este capítulo seguiremos tratando el tema, introduciendo nuevos conceptos más avanzados relacionados con la teoría del proceso digital de señales. La mayoría de las ideas barajadas se sustentan sobre complejas ecuaciones matemáticas, que evitaremos conscientemente. Intentaremos, sin embargo, tratar todos los temas y conceptos con rigor y ofreciendo una visión global que los haga fácilmente comprensibles, de forma que lo que sigue sea algo más que una simple enumeración de opciones de menús.

6.2. Efectos que utilizan retardos o delays

Muchos efectos se consiguen sumando a la señal original, varias copias retardadas y modificadas de diversas formas. De entre todos ellos, los más típicos son los de eco y reverberación, aunque, como veremos, no son los únicos. Dependiendo del tipo de efecto buscado, los tiempos de estos retardos pueden valer entre las pocas milésimas y los varios segundos.

6.2.1. Naturaleza del eco y la reverberación

En una sala, la reverberación se produce de forma natural porque los sonidos que nos llegan a los oídos no proceden de un único punto emisor, sino que recibimos también “copias” reflejadas por las paredes, el techo, el suelo, y otros objetos. Cuando más distantes de nosotros estén estos reflectores, más retardadas y también más atenuadas recibiremos las copias.

El tiempo de reverberación es una propiedad de las salas, y se define como el lapso que debe transcurrir para que el sonido inicial se atenúe en 60 dB. En salas grandes, este tiempo puede durar varios segundos. Otro factor que influye en la reverberación es la absorción de los materiales reflectantes. Superficies poco absorbentes, como el cristal, acrecientan el tiempo de reverberación, mientras que otras, como las cortinas o el propio público, hacen que este valor disminuya.

Normalmente, la absorción varía también con la frecuencia (los agudos se absorben más que los graves). Todo ello hace que un buen algoritmo digital de reverberación deba incluir muchos parámetros configurables.

Cuando estos retardos son suficientemente grandes como para oírse de forma aislada se denominan ecos, y sólo pueden producirse en espacios muy amplios y con pocos obstáculos (frente a una montaña, etc.). Si nos encontramos situados entre dos obstáculos distantes, el sonido sufrirá varias reflexiones antes de extinguirse, por lo que oiremos varios ecos sucesivos de intensidades decrecientes.

6.2.2. Reverberación y eco digitales

Dado que un alto porcentaje de la música grabada se escucha en pequeñas salas particulares con tiempos de reverberación muy cortos, la mayoría de grabaciones comerciales incorporan la reverberación y otros efectos que emulan la acústica de grandes salas y las hacen más gratas al oído. Pero los estudios de grabación tampoco pueden ofrecer reverberaciones naturales convincentes, por lo que desde hace décadas se ha investigado mucho en sistemas de reverberación artificiales.

En los años 60 y 70 estos efectos se reproducían de forma analógica (utilizando cintas magnetofónicas) o incluso mecánica (mediante la disposición de placas metálicas, micrófonos y altavoces), pero desde hace unos años, los ecos y reverberaciones digitales han desbancado por completo a los antiguos sistemas.

Existen unidades dedicadas que producen estos efectos en tiempo real, y de ellas hablaremos en el apartado 10.5. Los programas de edición de audio deben contentarse con hacerlo en diferido, pero las posibilidades de configuración que ofrecen son inmensas. Dado que la absorción de un sonido varía con su frecuencia, este tipo de procesos digitales involucran cambios en todos los niveles (tiempo, amplitud y frecuencia) aunque simplificando, pueden entenderse como una serie de repeticiones retardadas y atenuadas.

Todos los programas tratan la reverberación y el eco mediante opciones separadas, aunque ambos procesos pueden combinarse. *Cool Edit* y *Sound Forge*, son los más completos a la hora de definir este tipo de efectos. Para comprobarlo, basta con estudiar las figuras 6.1 y 6.2. *Cool Edit* es además el único programa que permite al usuario definir salas virtuales; basta con indicar sus dimensiones y los materiales que la componen, para que el sistema calcule su acústica y la aplique a cualquier sonido que deseemos.

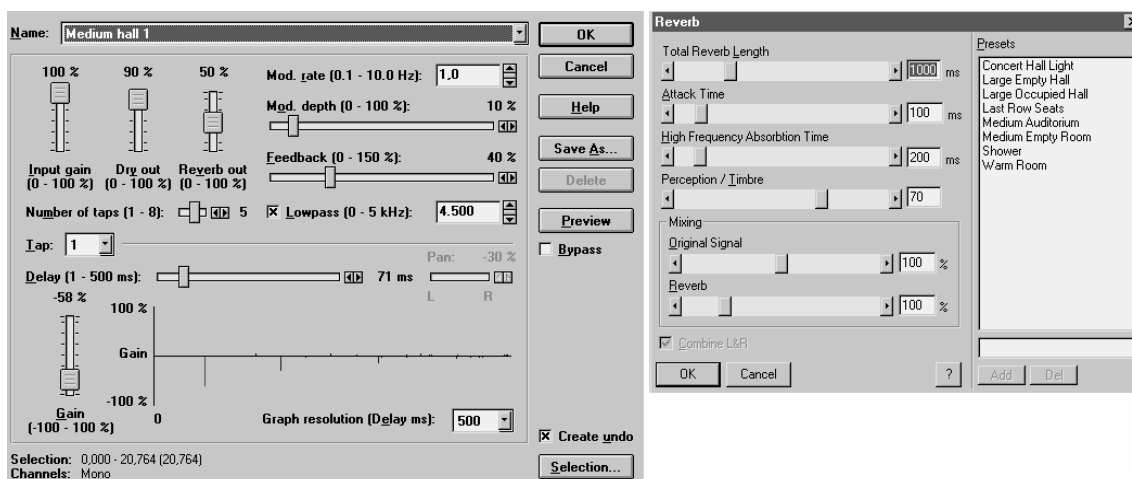


Figura 6.1. Configuración de la reverberación en *Sound Forge* (a) y *Cool Edit* (b)

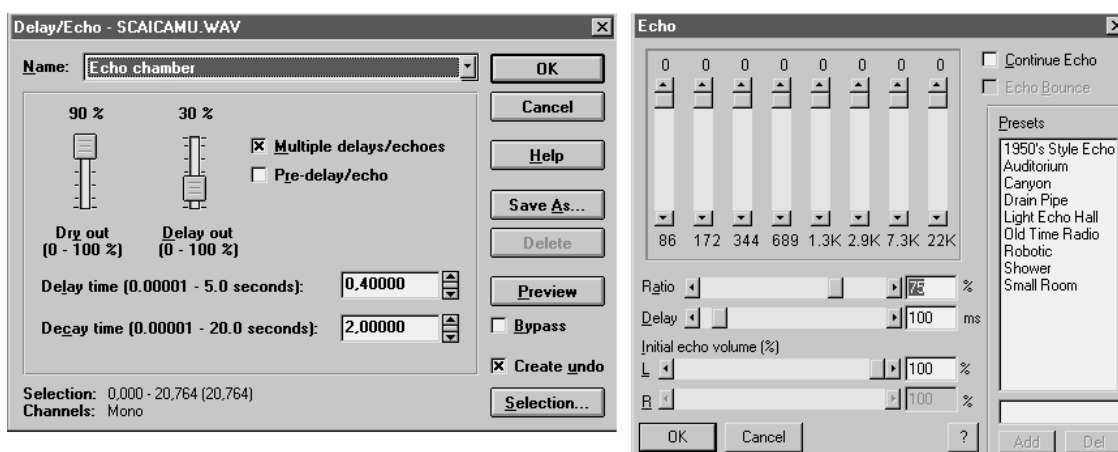


Figura 6.2. Configuración del eco en *Sound Forge* (a) y *Cool Edit* (b)

6.2.3. Algunos consejos prácticos

- Dado que cada uno de estos programas ofrece diferentes parámetros de configuración, no hay mejor forma para familiarizarse con estos efectos, que ir probando y escuchando los resultados. Un buen punto de partida puede consistir en estudiar y modificar los *presets* que incorporan (catedral, sala de conciertos, etc.).
- Cuando desee aplicar ecos o reverberaciones a un fichero de sonido, es conveniente disponer de silencio al final del fichero, ya que de lo contrario, el efecto se podría interrumpir de forma brusca. Si es necesario, convendrá utilizar previamente la opción *insertar silencio*, descrita en el apartado 5.5.
- Cuando utilice retardos grandes (décimas o varios segundos) en fragmentos musicales con un tempo claro, pruebe a aplicar valores relacionados de forma sencilla con el tempo musical. Los resultados serán más interesantes. Si, por ejemplo, un fragmento está a un tempo de 120 (significa que se producen 120 negras por minuto), cada negra durará 0,5 segundos. Pruebe a utilizar entonces retardos de 0, 125 s, 0,25 s, 0,5 s, 1 segundo, etc.

6.2.4. Flanger y phaser

Los retardos se utilizan también de forma menos evidente para crear otros tipos de efectos más "electrónicos". En estos casos, los valores suelen ser breves (milésimas o centésimas de segundo).

Con los términos *flange*, *flanger* o *flanging*, se conoce el efecto consistente en mezclar la señal original con una copia con un retardo muy breve, pero variable de forma periódica. Los parámetros a configurar son como mínimo el porcentaje de señal retardada, el margen de variación del retardo (entre varias unidades y varias decenas de milisegundos), la frecuencia de variación de este retardo (normalmente entre algunas décimas y varios hertzios), y el porcentaje de realimentación. En la figura 6.3, se muestran dos ventanas de configuración del *flanger*.

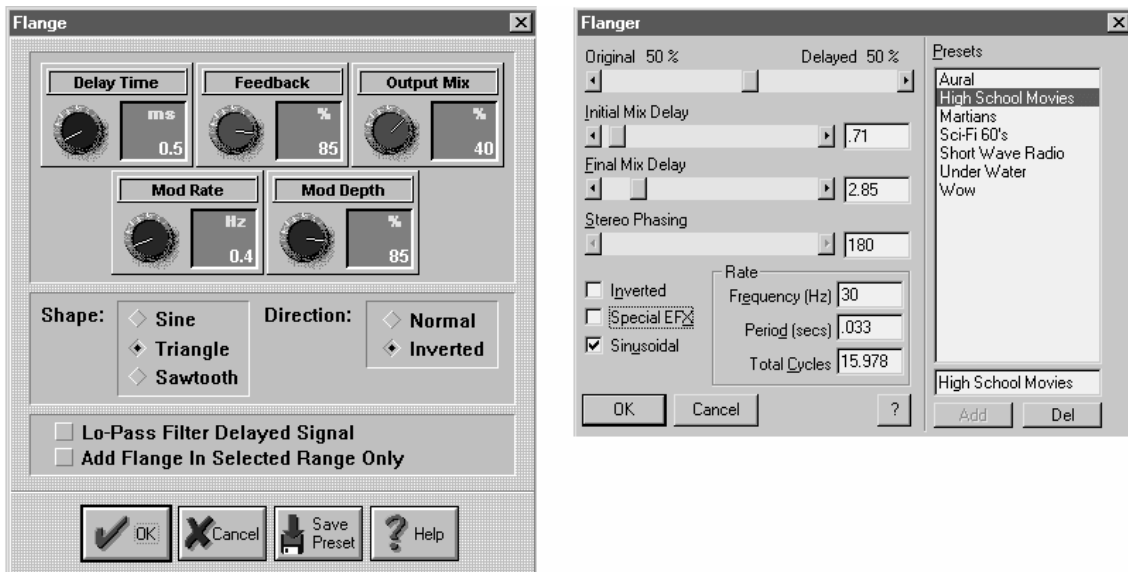


Figura 6.3. Configuración del flanger en *Wave* y *Cool Edit*

Dependiendo de estos valores, el efecto conseguido puede ser similar a los sonidos típicos de las películas de marcianos de los años cincuenta, o al sonido del pop psicodélico de finales de los sesenta (entonces se aplicaba frecuentemente a la guitarra y a la batería). En aquella época, estos efectos se conseguían de forma analógica, mezclando la señal de dos magnetófonos, y retardando o acelerando ligeramente uno de ellos.

Cuando no existe realimentación, el efecto es más discreto y suele denominarse *phaser* o *phasing*, y se encuentra con frecuencia en pedales para guitarra.

6.2.5. La realimentación o el feedback

La realimentación (*feedback* en inglés) no es el nombre de ningún efecto propiamente dicho, sino una forma de procesar el sonido que se aplica en muchos de ellos. Normalmente se expresa mediante un porcentaje que indica la cantidad de sonido ya procesado que se vuelve a procesar. Cuando este valor es del 0%, no existe realimentación, mientras que cuando es superior al 100%, la intensidad del sonido resultante aumentará paulatinamente hasta llegar a la saturación.

6.2.6. El chorus

Este es otro efecto, normalmente sutil, pero muy utilizado, con el que se intenta simular que un solo instrumento (o una sola voz), suene como varios instrumentos al unísono. Se consigue retardando y desafinando muy ligeramente la señal original. En la actualidad se aplica muchísimo a los cantantes, para dar más presencia a la voz. Muchos sintetizadores y algunas tarjetas de sonido incorporan efectos en tiempo real. En este caso, incluyen, casi invariablemente, reverberación y *chorus*.

Cuando se le aplica realimentación y modulación de amplitud, el *chorus* deja de ser un efecto discreto.

6.3. Procesadores de rango dinámico

Recordemos que el rango dinámico de un fragmento sonoro viene dado por la diferencia (en dB) entre la intensidad más fuerte y la más débil. Los efectos incluidos en este apartado, operan directamente sobre la amplitud de las muestras, aunque de formas más sofisticadas que los descritos en el apartado 5.6, modificando de diversos modos el rango dinámico de un determinado fragmento. Los más importantes son los compresores, los expansores, los limitadores y las puertas de ruido (comentadas ya en el apartado 5.6).

Una buena forma de caracterizar estos procesos, es a través de su función de transferencia, que establece una correspondencia entre las amplitudes de entrada y las amplitudes de salida. En la figura 6.4, se muestran varias funciones de este tipo, junto con los efectos que producen en un fragmento sonoro. La función 6.4.a es una recta con una inclinación de 45° , lo que significa que, en este caso, no se produce ninguna modificación del rango dinámico (a cualquier valor de amplitud de entrada, le corresponde el mismo valor en la salida).

Algunos programas de edición de audio permiten que el usuario dibuje manualmente la curva de transferencia, por lo que todos los efectos que se describen a continuación, pueden considerarse como casos particulares de un proceso único. En otros, como por ejemplo *Wave*, los parámetros se introducen de forma numérica, con lo cual el control en la definición del proceso no puede ser tan preciso.

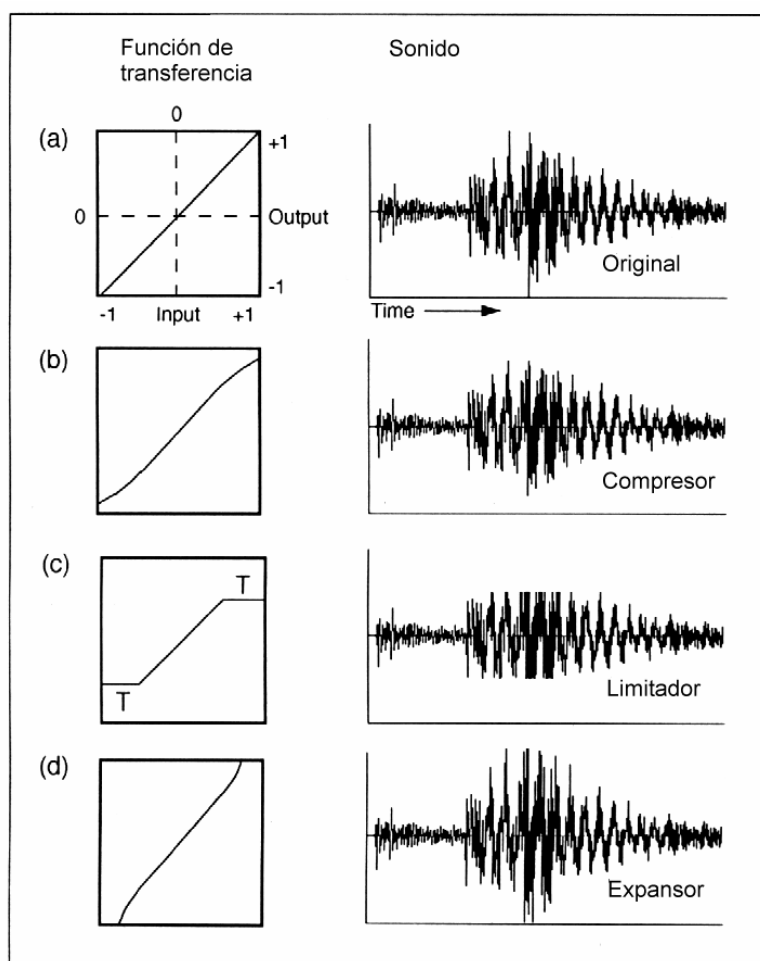


Figura 6.4. Funciones de transferencia de procesamiento de rango dinámico. En la segunda columna se muestra el efecto producido sobre un mismo sonido.

6.3.1. Los compresores y los limitadores

Los compresores se utilizan para reducir el rango dinámico de una señal. Su uso es muy frecuente en la grabación de partes vocales, ya que en muchos casos, la señal emitida por la voz y recogida por un micrófono, presenta mínimos muy débiles que se confundirían con el ruido de fondo. Con una compresión más exagerada se consigue un efecto intimista, ya que se acentúan los sonidos de la respiración y de los movimientos bucales (lengua, saliva, etc.). Este efecto también se utiliza mucho en las guitarras eléctricas, creando el típico sonido de guitarra *heavy* (fig. 6.4.b).

Los limitadores son un caso extremo de compresores, que limitan la amplitud máxima posible a un valor umbral. Suelen utilizarse en grabaciones de conciertos para evitar que se pueda producir saturación. Su función de transferencia presenta pendientes horizontales en los extremos (fig. 6.4.c).

6.3.2. Los expansores

Un expansor es el opuesto de un compresor. Acentúa los cambios, disminuyendo los niveles débiles, y aumentando los fuertes. Se utiliza frecuentemente en combinación con puertas de ruido, y para realzar grabaciones antiguas que presentan un rango dinámico estrecho (fig. 6.4.d).

6.3.4. La distorsión

Este término tiene connotaciones peyorativas ya que normalmente define la pérdida o la degradación inevitables en una señal, ocasionadas por los diferentes dispositivos o procesos (micrófono, grabación, amplificador, altavoces) a los que se ve sometida. Sin embargo, todos los efectos descritos anteriormente son, en realidad, casos particulares de distorsión, que, por su uso frecuente, reciben un nombre propio.

Los programas de edición de audio que permiten dibujar la función de transferencia, no imponen ninguna limitación sobre la forma de esta función, por lo que posibilitan cualquier distorsión arbitraria.

6.4. Los filtros

6.4.1. Definición

De forma rigurosa, cualquier algoritmo o proceso computacional, que a partir de una entrada (una secuencia de números), genere una salida (otra secuencia de números), puede considerarse como un filtro digital. Todos los procesos que hemos comentado hasta el momento representan, por lo tanto, casos diferentes de filtros digitales, pero en la práctica este término se acostumbra a reservar para aquellos dispositivos que modifican el espectro de una señal. No se asuste si lo que sigue le parece algo complicado. Piense que la teoría de filtros digitales puede ocupar todo un curso en una carrera de ingeniería. Por ello, no

trataremos aquí la forma de implementación de estos filtros digitales, ni en las teorías matemáticas sobre los que se apoyan.

6.4.2. Espectro de una señal

Comentábamos en el apartado 1.3.3 que la mayoría de sonidos están compuestos por varias frecuencias diferentes. El teorema de Fourier afirma que toda señal periódica compleja puede descomponerse en una suma de señales sinusoidales de frecuencias y amplitudes diferentes. Esta descomposición se denomina espectro de frecuencias, y se representa mediante un gráfico con frecuencias en las abscisas y amplitudes en las ordenadas, en el que se visualizan las respectivas amplitudes de todas las frecuencias que componen un sonido¹.

Esta teoría, que data de más de un siglo, se aplica de forma rigurosa a las señales totalmente periódicas, pero los sonidos nunca lo son plenamente, pues siempre varían a lo largo del tiempo. Afortunadamente, desde hace varias décadas, mediante complejos procesos matemáticos que van más allá del alcance de esta obra, el análisis de Fourier se aplica también a señales variables en el tiempo. En este caso, la representación espectral de un sonido no es ya una única distribución de frecuencias bidimensional, sino una superficie tridimensional, compuesta por una sucesión de "rebanadas" temporales, en la cada una muestra el aspecto del espectro en un instante dado.

En la figura 6.6, se muestran varios de estos espectros tridimensionales. En ellos, la frecuencia se representa en el eje x, el tiempo en el eje y (aumenta al acercarse hacia el observador), y la amplitud de estas frecuencias en el eje z. Asimismo, en la parte derecha de estas figuras, se muestra el espectro de frecuencias o "rebanada" correspondiente al instante inicial $t=0$.

Algunos programas de edición de audio son capaces de realizar este análisis para un fragmento seleccionado y de mostrar gráficamente el resultado. Estos gráficos permiten estudiar la evolución temporal de los diferentes componentes frecuenciales que integran el sonido.

6.4.3. Tipos de filtros básicos

Un filtro se caracteriza por su curva de respuesta de frecuencia, que indica la forma en que las diferentes frecuencias en la entrada se atenúan o amplifican². Todos los componentes electrónicos de sonido poseen una curva de respuesta de frecuencia particular, aunque en la mayoría de aparatos (micrófonos, amplificadores, conversores A/D y D/A, altavoces, etc.), lo ideal sería que esta curva fuese plana (una recta horizontal) entre los 20 y los 20.000 Hz, ya que toda desviación acarrea una modificación artificial del timbre o el color del sonido.

Dejando al margen estos problemas de diseño, que seguirán llevando de cabeza a los diseñadores de componentes electrónicos, los filtros más usuales pueden clasificarse, de acuerdo con la forma de esta curva de respuesta, en cuatro grandes familias: pasa-bajo, pasa-alto, pasa-banda y rechazo de banda.

¹ Aunque nos refiramos a señales sonoras, la teoría de Fourier se aplica a cualquier tipo de señal (imágenes, etc.)

² De acuerdo con el lenguaje coloquial, un filtro deja pasar determinados componentes, por lo que parece que sólo pueda atenuar. La realidad es que los filtros también pueden amplificar.

- **El filtro pasa-bajo**, deja pasar las frecuencias por debajo de un determinado valor, denominado *frecuencia de corte*. En un filtro ideal esta frecuencia debería suponer una discontinuidad en la curva de respuesta, de forma que toda frecuencia por encima de este valor se atenúa totalmente y toda frecuencia por debajo se dejará tal cual. En la práctica, esto no es posible y todos los filtros reales presentan una pendiente en la zona cercana a la frecuencia de corte. Cuanto más inclinada sea esta pendiente de atenuación, más preciso será el filtro.
- **El filtro pasa-alto**, realiza la labor opuesta, ya que únicamente deja pasar las frecuencias superiores a la frecuencia de corte.
- **El filtro pasa-banda**, deja pasar una banda de frecuencias, eliminando el resto. Se define a partir de la frecuencia central o de resonancia y el ancho de banda.
- **El filtro de rechazo de banda**, actúa de forma inversa al de pasa-banda. Al igual que éste, se caracteriza por la frecuencia de resonancia y el ancho de banda.

En la figura 6.5, se esquematizan las curvas de respuesta de frecuencia de estos cuatro filtros básicos, y en la figura 6.6 se muestran los efectos de aplicar estos diferentes filtros a un mismo sonido.

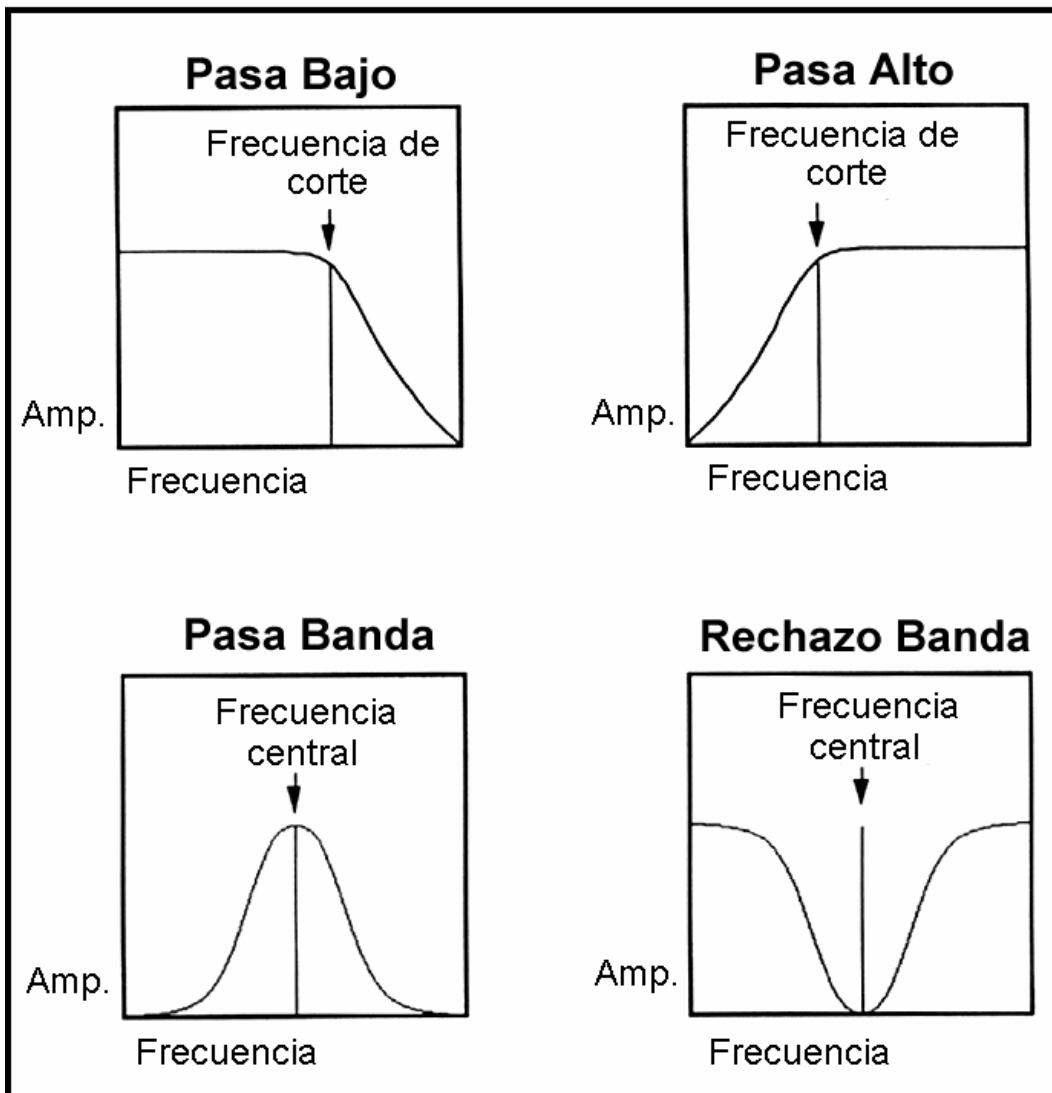
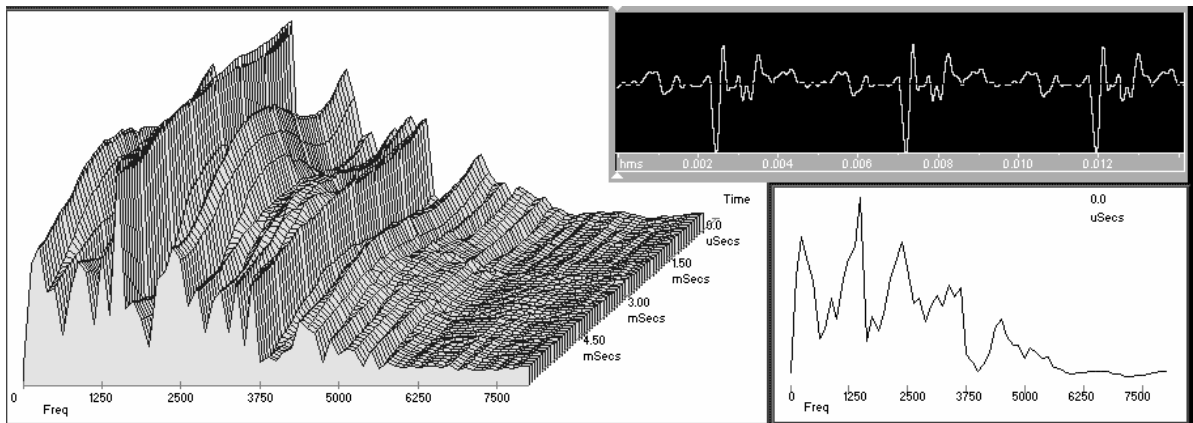
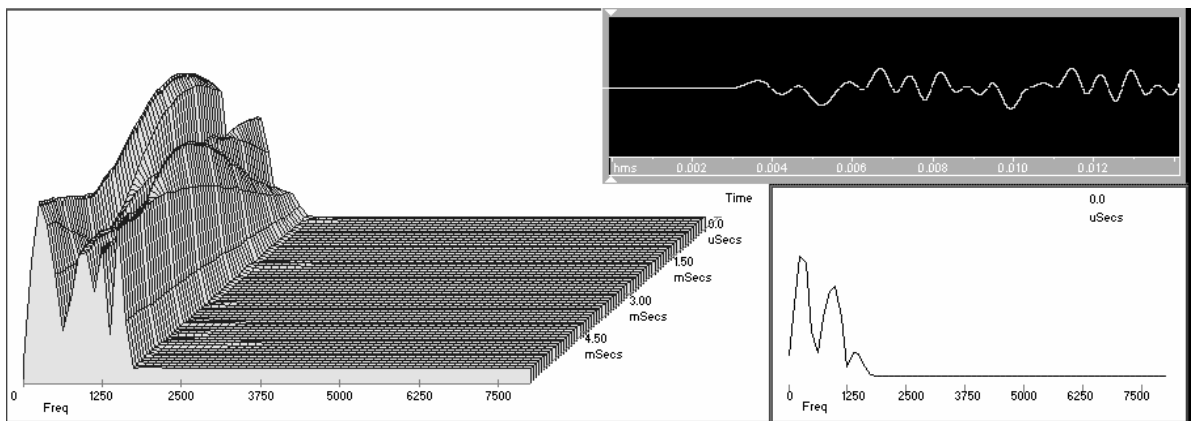


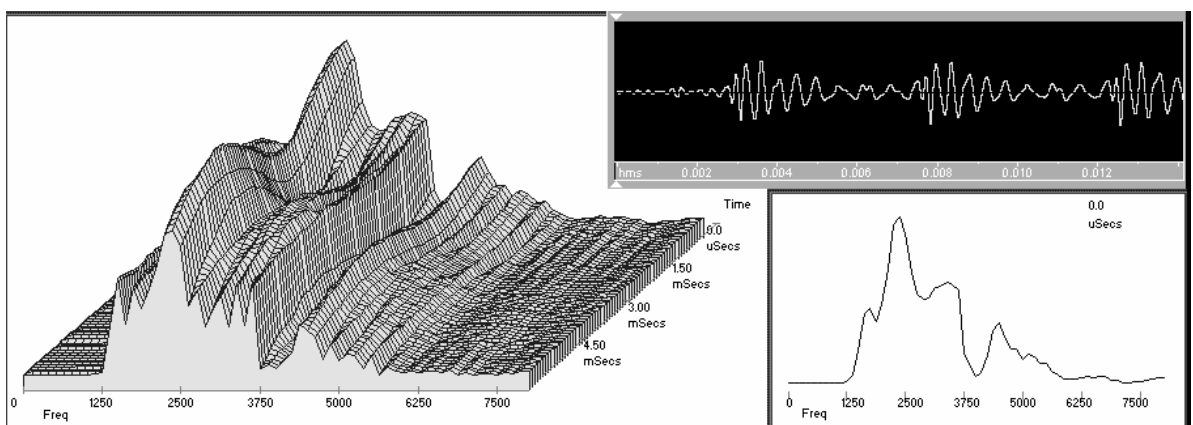
Figura 6.5. Curvas de respuesta de frecuencia de los cuatro filtros básicos



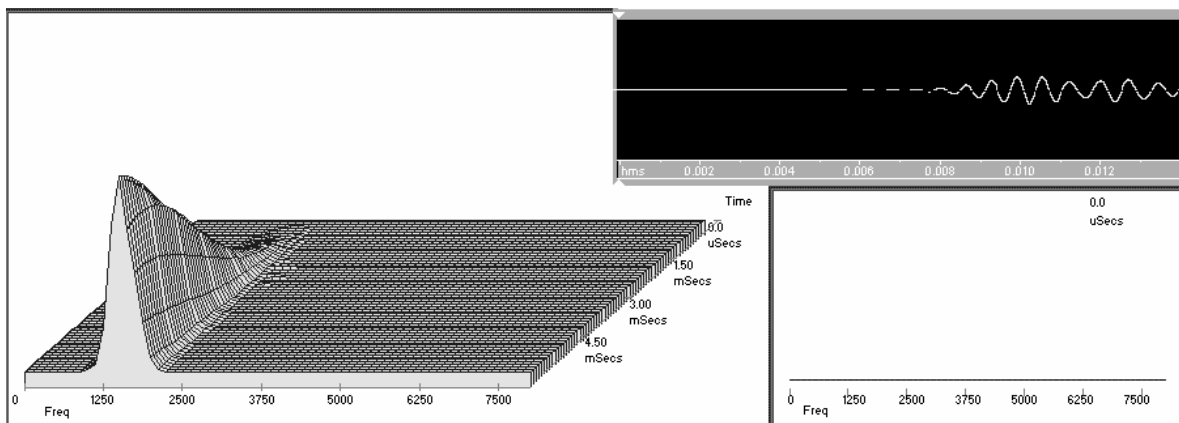
A. Sonido original



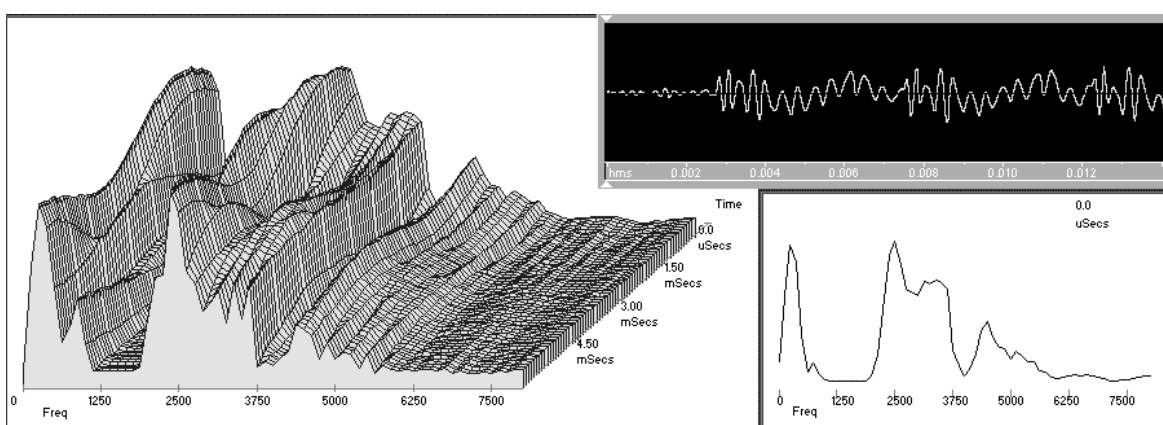
B. Filtrado pasa-bajo a 1.500 Hz



C. Filtrado pasa-alto a 1.500 Hz



D. Filtrado pasa-banda a 1.000-2.000 Hz



E. Filtrado rechazo de banda a 1.000-2.000 Hz

Figura 6.6. Ejemplos de filtrado con la evolución temporal del espectro de frecuencias, su aspecto en el instante t=0 y el sonido resultante.

6.4.4. Ecuallizadores

Todos hemos visto alguna vez un ecualizador gráfico. Este aparato consta de varios potenciómetros, cada uno de ellos asociado a una banda de frecuencia, que permiten amplificar o atenuar estos componentes frecuenciales. Cuantas más bandas tenga el ecualizador, más preciso será el control sobre el espectro armónico y más radicalmente se podrá modificar el timbre de los sonidos procesados.

Un ecualizador gráfico se construye con un banco de filtros pasa-banda en paralelo.

Otro tipo de ecualizadores son los paramétricos, que presentan menos bandas (típicamente dos o tres), pero con frecuencias de corte configurables.

6.4.5. Implementación de los filtros en los editores de audio

Los diferentes programas de edición de audio, ofrecen diversas alternativas a la hora de implementar los filtros digitales. Casi todos incorporan un ecualizador gráfico de varias bandas, como el que se muestra en la figura 6.7, y los cuatro tipos básicos en los que el usuario deberá indicar la frecuencia de corte y la pendiente de atenuación.

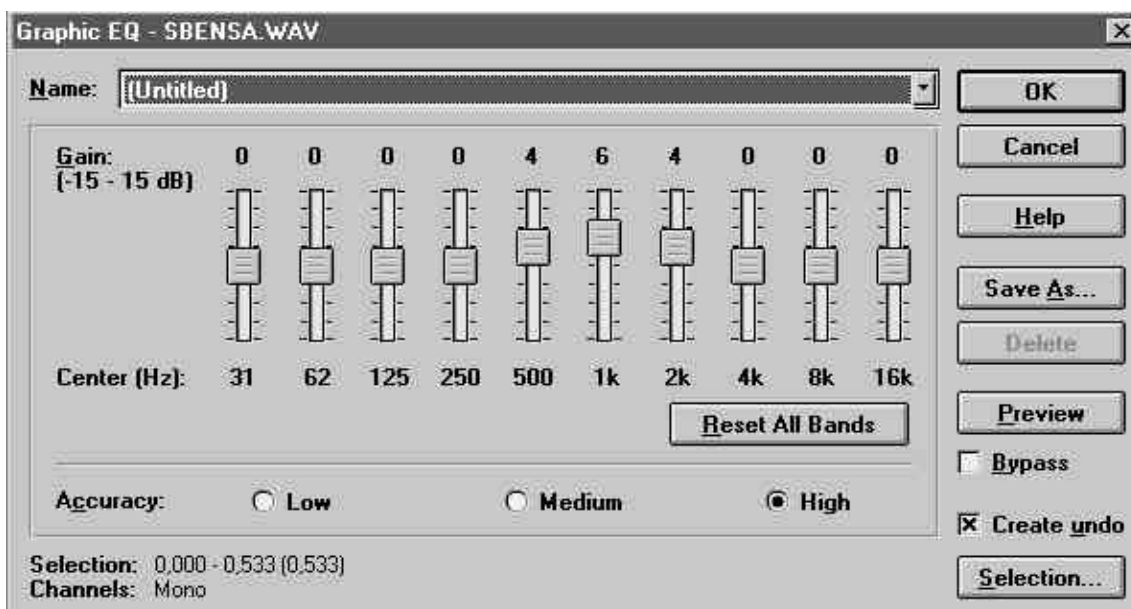


Figura 6.7. Ecualizador gráfico en *Sound Forge*

Uno de los más versátiles es *Cool Edit* que permite además dibujar curvas de respuesta de frecuencia arbitrarias, como la de la figura 6.8, e incluso interpolar entre dos curvas diferentes produciendo filtros variables en el tiempo, con lo cual se pueden conseguir interesantes efectos.

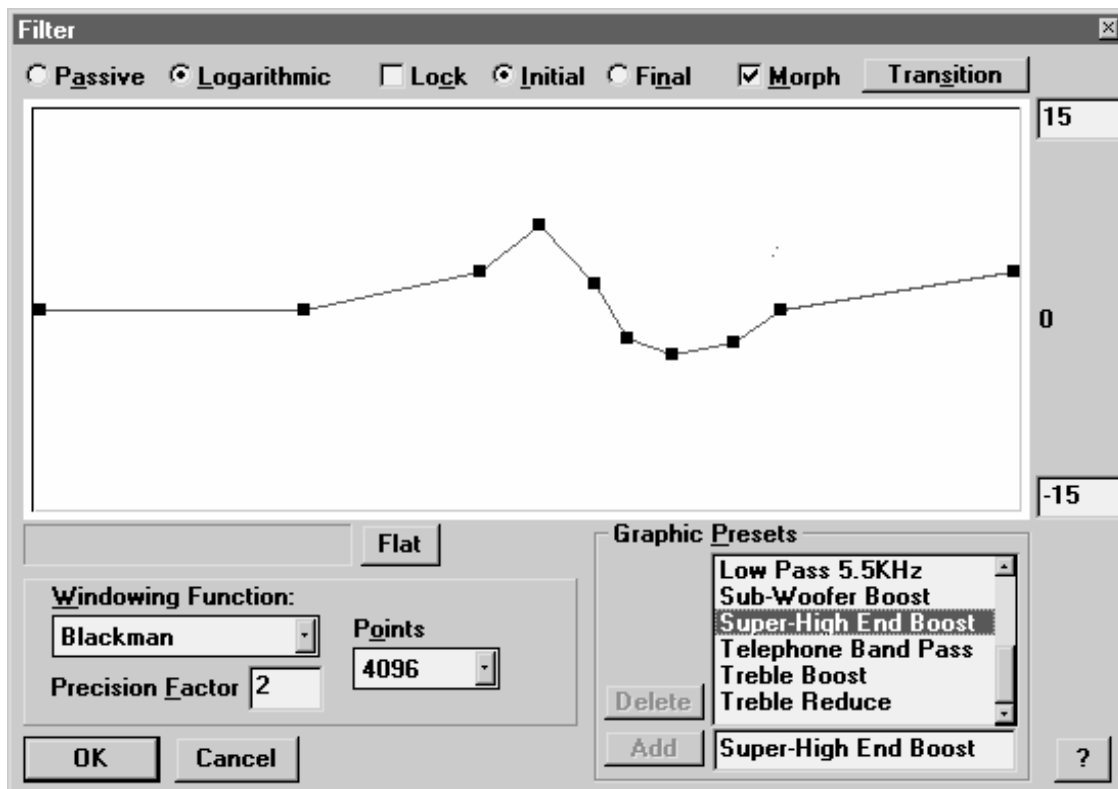


Figura 6.8. Curvas de respuesta de frecuencia en *Cool Edit*

6.4.6. Aplicaciones del filtrado digital

Las posibilidades del filtrado digital son muchas; describiremos a continuación algunas de las más representativas.

- **Filtrado pasa-bajo al reducir la frecuencia de muestreo.** Comentábamos en el apartado 2.4, que la reducción de la frecuencia de muestreo provoca el fenómeno del aliasing, por el cual aparecen frecuencias fantasmas que no se encontraban en el sonido original. Para evitar el aliasing, antes de convertir un fichero a una frecuencia de muestreo inferior, deberá aplicar un filtro pasa-bajo con frecuencia de corte igual a la mitad de la nueva frecuencia de muestreo. Si desea pasar un fichero grabado a 44.100 Hz a 22.050 Hz, deberá, por lo tanto, filtrar el sonido, eliminando sus componentes frecuenciales por encima de 11.025 Hz. Programas como Sound Forge simplifican este proceso, ya que ofrecen la opción de filtrar automáticamente al pasar a una frecuencia menor.
- **Simulación de dispositivos analógicos.** Un filtrado selectivo puede emular las características sonoras de dispositivos de baja calidad, como teléfonos, radios antiguas, megáfonos, etc. Estos dispositivos se caracterizan por tener curvas de frecuencia bastante estrechas. En este caso, la herramienta más sencilla suele ser el ecualizador gráfico. Si el programa dispone de presets de ecualización bastará con seleccionar el oportuno. Si no encuentra el preset que desea, una vez haya configurado convenientemente el ecualizador (por el método de tanteo y error), no olvide salvar el preset para un posible uso futuro.
- **El realzado sonoro,** es especialmente eficaz y aconsejable con grabaciones de voz. Piense que muchas de las voces aterciopeladas y seductoras de los cantantes actuales son fruto directo del laboratorio. Pruebe a potenciar diferentes bandas de frecuencia en

grabaciones de su propia voz (la voz humana posee componentes entre los 100 Hz y los 5.000 Hz aproximadamente).

- **Utilice el análisis espectral.** Para no trabajar a ciegas, el análisis espectral (véase fig.6.6) es una herramienta muy útil que nos puede dar una idea de las cualidades y carencias de cualquier sonido. En ocasiones, se infiltran en las grabaciones molestos ruidos con una frecuencia fija, causados por interferencias eléctricas. El análisis espectral nos permitirá detectar estas frecuencias fastidiosas, para proceder a su filtrado posterior.
- **El filtrado creativo es una ciencia y un arte**, que permite alterar radicalmente la naturaleza de cualquier sonido. Intente crear sonidos “musicales” a partir de modestos sonidos cotidianos.

6.5. Compresión y expansión temporal

En el apartado 5.7 estudiamos diversas formas de cambiar la frecuencia y la duración de un sonido. Existe una posibilidad adicional, realizable únicamente de forma digital y que tan sólo los editores más potentes contemplan, que permite modificar la frecuencia sin alterar la duración o viceversa. Ambas facetas utilizan un mismo proceso denominado por extensión *time-stretching* (compresión temporal). Las matemáticas involucradas son enormemente complejas, por lo que el cálculo de estos efectos suele ser un proceso lento (decenas o incluso centenares de veces la duración del sonido a procesar). Veamos algunas posibles aplicaciones³.

- Corregir un fragmento instrumental o vocal ligeramente desafinado. Las técnicas descritas en 5.7, permitirían corregir esta desafinación, pero a costa de modificar también la duración del fragmento, lo cual puede no ser deseable si el fragmento está sincronizado con otros sonidos.
- El caso contrario, es decir corregir incorrecciones rítmicas, preservando la afinación.
- Transponer varias veces un fragmento con intervalos diferentes y sumarlos todos al original, para crear coros o acordes.
- Este proceso puede funcionar también como un "microscopio sonoro"; alargando en varios factores sonidos muy cortos, descubrirá insospechadas nuevas sonoridades.

6.6. Técnicas futuras

El proceso digital de señal de audio es una disciplina joven y de gran vitalidad, en la que cada día surgen nuevas técnicas y posibilidades.

Bajo el término *síntesis cruzada* se incluyen varias técnicas diferentes basadas normalmente en el análisis de Fourier (comentado en el apartado 6.4.2), que permiten obtener sonidos híbridos. La idea que subyace en todas ellas, consiste en analizar las evoluciones de diferentes parámetros de un sonido y aplicarlas a otro. Estas posibilidades, todavía muy poco explotadas

³Conviene tener en cuenta que cuando la modificación (tanto a nivel temporal como de altura) es grande (a partir de un factor 1,5 ó 2 aproximadamente) el timbre del sonido se altera excesivamente y deja de parecer natural.

a nivel de software comercial, son por ejemplo muy eficaces cuando uno de los dos sonidos involucrados corresponde a un fragmento vocal, ya que permiten conseguir instrumentos "parlantes".

Uno de las técnicas más utilizadas para llevar a cabo este efecto, es el *vocoder* (descodificador de voz) que consiste a grosso modo en filtrar un sonido a través de un ecualizador, cuyos niveles de bandas han sido obtenidos a partir del análisis espectral de otro sonido. Otras formas de obtener efectos de estas características, consiste en aplicar la *convolución*, una técnica matemática muy utilizada en todo tipo de aplicaciones de tratamiento de señal.

Otra importante área de investigación es la del *sonido 3D*, que se encuentra actualmente muy potenciada gracias a la realidad virtual.

Lamentablemente, ninguno de los editores de audio comentados en estos capítulos incorpora todavía estas prestaciones, que sólo se encuentran disponibles en programas especializados (frecuentemente menos cómodos de utilizar), realizados en universidades o centros de investigación. Sin embargo, habida cuenta del auge que está tomando el audio digital en estos últimos años, es probable que no tengamos que esperar demasiado para verlas en los programas comerciales.

6.7. Conclusión

Los editores gráficos de audio constituyen por así decirlo, la sala de maquillaje de los ficheros de sonido. Con cualquiera de estos programas es además posible componer un tema integro, pegando y mezclando diversos fragmentos independientes. Sin embargo, su uso es más eficaz, en combinación con el MIDI. Veamos algunas aplicaciones combinadas:

- Muchas aplicaciones multimedia, optan por no utilizar el MIDI y reproducir toda la música mediante ficheros en formato wav. En este caso, es frecuente componer la música mediante MIDI, convertirla a audio digital utilizando el mezclador y la grabadora de Windows (véase apartados 4.7 y 4.9), y realizar el retoque final en un editor gráfico de sonido.
- Esta conversión a audio digital, es también necesaria siempre que se decida incluir un tema realizado con MIDI en un CD Audio. Al igual que en caso anterior, entre la conversión a audio y el volcado al CD, es muy frecuente utilizar un editor de sonido para pulir los detalles. En el apartado 18.7.4 comentaremos el proceso de creación de un CD Audio, utilizando grabadores de CD-ROM.
- Las posibilidades de modificación de sonidos de los programas que hemos estudiado, son especialmente útiles para crear nuevos instrumentos MIDI, cuando se dispone de un *sampler* o de una tarjeta de sonido con memoria RAM (véase apartados 9.6, 12.3 y 12.4).
- El uso conjunto del MIDI y del audio digital, posible con los nuevos programas multipista, permite combinar lo mejor de ambos mundos. En el apartado 18.6 estudiaremos las posibilidades que ofrecen estos nuevos tipos de software.

Con este capítulo concluye pues la primera parte dedicada al audio digital, para dar paso al MIDI. En el capítulo 9, "Síntesis y generación digital de sonido", volveremos con otro aspecto del audio digital, al estudiar las diferentes técnicas que se utilizan para generar sonido sintético.