



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

Proyecto fin de Carrera Grado

Grado en Ingeniería Informática de Computadores

Fundamentos del Lenguaje Csound

**Realizado por
Rafael Escudero Lirio**

**Dirigido por
Víctor Jesús Díaz Madrigal**

**Departamento
Lenguajes y Sistemas Informáticos**

Sevilla, septiembre de 2020 (v.0.0.1)

Resumen

El lenguaje de programación Csound está principalmente destinado a la síntesis y producción de sonido en un ámbito musical. Es un lenguaje de código abierto, accesible en la plataforma GitHub y su compilador está programado en C, de ahí su nombre. Recibe periódicamente contribuciones de desarrolladores de diferentes partes del mundo y se encuentra en su versión 6.14.0 a la fecha de realización de este trabajo. Es relativamente poco conocido al ser de uso muy específico y al estar toda su documentación dedicada a personas angloparlantes.

Al ser éstas las circunstancias del lenguaje se ha formado a su alrededor una comunidad dedicada que se agranda con el paso del tiempo, con el fin de seguir desarrollando su tecnología y de ahí la justificación del principal motivo del presente trabajo de fin de grado:

Dar a conocer los fundamentos del lenguaje Csound.

Para tal fin, se estructurará el presente trabajo a modo de guía introductoria de uso del lenguaje. Destacando las principales características de éste y priorizando la escalada progresiva de complejidad al decidir el orden de exposición de los conceptos, con intención de favorecer el aprendizaje a medida que se vaya usando el documento. Se priorizará también que el contenido se exponga de manera unitaria para favorecer el uso del presente documento como guía de consulta rápida de conceptos básicos de Csound.

Se exponen a continuación los principales objetivos del presente trabajo:

- Dar a conocer en mayor medida el lenguaje de programación Csound.
- Proporcionar una guía de aprendizaje introductorio al lenguaje Csound.
- Proporcionar un documento de consulta rápida de conceptos del lenguaje Csound.
- Proporcionar ejemplos prácticos de programación usando el lenguaje Csound a modo de demostración capacitiva del lenguaje.

Por último destacar que tecnologías como Csound invitan al trabajo colaborativo e interdisciplinar en distintos ámbitos como son en este caso la informática y la música. Es por ello fundamental dar a conocer sus diferentes usos con el fin último de ampliar el desarrollo de los conocimientos tecnológicos.

Índice general

Índice general	II
Índice de figuras	IV
Índice de código	V
1 Introducción	1
1.1 ¿Qué es Csound?	1
1.2 ¿Por qué usar Csound?	1
1.3 Breve historia de Csound	2
1.4 Las características del lenguaje	2
1.5 Alternativas a Csound	3
1.5.1 Max/MSP	3
1.5.2 PureData	3
1.5.3 SuperCollider	4
1.6 IDEs para usar Csound	4
1.6.1 CsoundQT	4
1.6.2 Blue	5
1.6.3 Cabbage	6
2 La Sintaxis del Lenguaje	7
2.1 Hello Csound!	7
2.2 A tener en cuenta	7
2.3 División por etiquetas	8
2.4 Palabras reservadas	8
2.5 Las variables en Csound	9
2.6 Los Opcodes	10
2.6.1 Sintaxis del Opcode	10
2.7 Los Score events	11
2.8 Usando lo aprendido en un Sintetizador MIDI	11
2.8.1 El instrumento base <CsInstruments>	11
2.8.2 Las opciones de configuración <CsOptions>	12
2.8.3 Ejecutando nuestro instrumento <CsScore>	12
2.8.4 Creando una interfaz <Cabbage>	12
2.8.5 El teclado básico	13
2.8.6 Convirtiendo el teclado en un sintetizador	14
2.8.7 Últimos detalles	14
2.8.8 El resultado final	15

3	Profundizando en los conceptos básicos	17
3.1	Las diferencias entre variables i-rate y k-rate	17
3.2	Las f-variables, w-variables y S-variables	18
3.3	El ámbito global y local de las variables	18
3.4	Las estructuras de control	19
3.4.1	Sentencias if-else	19
3.4.2	Bucles While/Until	19
3.4.3	El timeout	19
3.5	Los Arrays de datos	20
3.5.1	Propiedades de los Arrays	20
3.5.2	Opcodes útiles	21
3.5.3	Operaciones con arrays	22
3.6	Funciones de entrada/salida	22
3.7	Creando un opcode (UDOs)	23
3.8	Las macros	23
4	Haciendo Música en Directo	24
4.1	secc	24
5	Cabbage: Guía de uso	25
5.1	Instalación de Cabbage	25
5.2	Opciones del IDE	26
5.2.1	Creando un nuevo archivo	27
5.3	La etiqueta <Cabbage>	27
5.3.1	Los Widgets	27
5.4	Exportando nuestros instrumentos	28
6	Fundamentos del Sonido	30
6.1	Introducción	30
6.2	El Audio Digital	30
6.2.1	¿Qué es el sonido y cómo se transmite?	30
6.2.2	La onda de sonido y sus características	31
6.2.3	El Sampleo y Sample Rate	32
6.3	Conceptos interesantes	33
6.3.1	El decibelio	33
6.3.2	El ADSR	33
6.3.3	El Cutoff y la resonancia	34
6.3.4	La ganancia o gain y sus diferencias con el volumen	35
7	Bibliografía Comentada	36
7.1	refs	36

Índice de figuras

1.1	Barry Vercoe	2
1.2	Ejemplo Max/Msp	3
1.3	Ejemplo PureData	4
1.4	CsoundQt	5
1.5	Blue	5
1.6	Cabbage	6
2.1	Sonido cuadrafónico	9
2.2	Nuestro primer sintetizador	13
3.1	La duración de los K-Cycles	17
5.1	Versiones disponibles	25
5.2	Pasos de la instalación	26
5.3	Ejemplos disponibles en el IDE	26
5.4	Sintetizador, Efecto, Archivo Csound y VCV Rack	27
5.5	Las opciones de exportación del IDE	28
6.1	Onda Senoidal	30
6.2	Periodo y Amplitud	31
6.3	Ejemplo de sampleo de una onda	32
6.4	Un mismo sample rate para ondas distintas	33
6.5	El envolvente ADSR de una onda	34

Índice de código

2.1	Hello World! en Csound	7
2.2	Sintaxis generalizada de un Opcode	10
2.3	Ejemplo de uso del Opcode oscils	10
2.4	Instrumento base del sintetizador	11
2.5	Variables globales inicializadas	11
2.6	Opciones de configuración	12
2.7	La interfaz del teclado	12
2.8	Un teclado básico funcional	13
2.9	El slider para el valor de ataque	14
2.10	Vinculación de canales a variables	14
2.11	Un sintetizador funcional	15
3.1	Sintaxis base de la sentencia if-else	19
3.2	Sintaxis base de los bucles while-until	19
3.3	Sintaxis base del timeout	19
3.4	Ejemplo real de uso del timeout	20
3.5	Uso del scalearray	21
3.6	Sintaxis base de un UDO	23
3.7	UDO para ecuaciones de segundo grado	23
3.8	Uso del opcode SegundoGrado en un instrumento	23
5.1	Ejemplo básico de un widget	27

Introducción

1.1– ¿Qué es Csound?

Csound es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos dedicado a la síntesis, edición y producción de sonido. Su sintaxis es concreta y su compilador está codificado en lenguaje C. Entre los usos prácticos del lenguaje podemos encontrar ejemplos en la página oficial <https://csound.com/projects.html> de proyectos dedicados a la síntesis de música en directo, edición de sonido mediante efectos generados programáticamente y creación de interfaces VST o instrumentos virtuales entre otros.

Podemos referirnos a Csound como un “Compilador de Sonido”.

1.2– ¿Por qué usar Csound?

Hay muchas buenas razones para usar Csound. Csound es software libre de código abierto con licencia LGPL, está en constante desarrollo y tiene una comunidad de desarrolladores que crece día a día, proporciona además un punto de conexión entre la disciplina informática y el ámbito de la música y el sonido. Es además una gran herramienta científica al facilitar la exposición y experimentación de conceptos relacionados a las ondas del sonido, con una amplia librería de funciones y objetos útiles para ello. En lo que se refiere a la composición musical, Csound se ha usado principalmente para generar música electrónica a lo largo de su historia aunque podemos encontrar a compositores de cualquier género musical o tipo de instrumento sacándole provecho al lenguaje. No es de extrañar vistas las tendencias actuales en el mundo de la música, donde para triunfar a nivel multitudinario es prácticamente imprescindible contar con un buen productor que sepa embellecer el sonido. Es frecuente ver a usuarios del lenguaje interpretando su música en directo con ayuda directa de éste. Y por último debo destacar que Csound es compatible con los principales sistemas operativos del mercado, desde Windows a iOS pasando por distribuciones Linux. Y como veremos más adelante en esta guía, sus funciones pueden llamarse desde el código de otros lenguajes como Python, java o C.

1.3– Breve historia de Csound

De manera resumida, Csound fue desarrollado en un principio por Barry Vercoe (véase la figura 1.1) en 1985 en el MIT¹ Media Lab. Y desde la década de los años 1990, una amplia variedad de desarrolladores ha colaborado a su código abierto, aportando además documentación, ejemplos y artículos sobre el lenguaje.

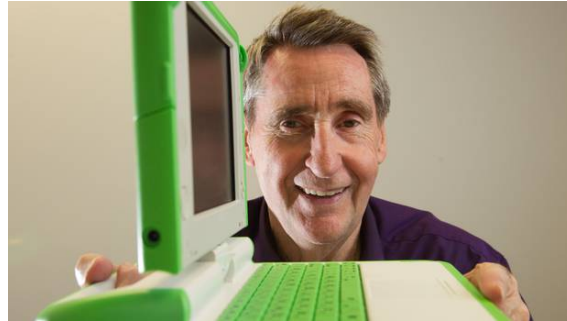


Figura 1.1: Barry Vercoe

Para hablar de los verdaderos orígenes de Csound debemos remontarnos a la década de los años 1970, a los orígenes de la producción informática de sonido. Matt Mathews creó MUSIC, el primer lenguaje informático para la generación de ondas de audio digital. En éste se basarían sus posteriores iteraciones: Music1, Music2, Music3, Music4, Music4B... Hasta llegar a Music11, desarrollado por el mentado Barry Vercoe, y del cual Csound es sucesor directo. Posteriormente el desarrollo del lenguaje ha continuado gracias a su comunidad con John Fitch de la University of Bath a la cabeza y como dueño del repositorio de código abierto en la plataforma GitHub. En la actualidad se realizan periódicamente las ICSC², conferencias dedicadas a Csound a nivel internacional de manera periódica, siendo la última fecha de realización el 27 de septiembre de 2019 en la actualidad del presente documento.

1.4– Las características del lenguaje

A continuación se muestra una lista de las características principales y técnicas del lenguaje:

- Usado para la síntesis, edición y análisis de sonido y música.
- Lenguaje de código abierto.
- Programación funcional.
- Licencia de distribución LGPL.
- Orientado a objetos.
- Compilador programado en lenguaje C.
- 30 años de desarrollo.
- Compatibilidad con otros lenguajes y retrocompatibilidad de versiones.

¹Massachusetts Institute of Technology

²International Csound Conference

1.5– Alternativas a Csound

Voy a hablar de tres principales alternativas a Csound, siendo estos lenguajes dedicados principalmente a la síntesis, edición y análisis del sonido.

Lenguajes Gráficos

- Max/MSP
- PureData

Lenguaje Escrito

- SuperCollider

1.5.1. Max/MSP

Max es un lenguaje de programación gráfico (véase figura 1.2) dedicado a la música y sonido al igual que Csound pero a diferencia de éste, no es de código abierto. Lo desarrolla y mantiene la empresa Cycling '74 y actualmente puede probarse gratuitamente durante los primeros 30 días de uso. Podría decirse que es por excelencia el lenguaje comercial para el desarrollo de aplicaciones comerciales destinadas al ámbito musical.

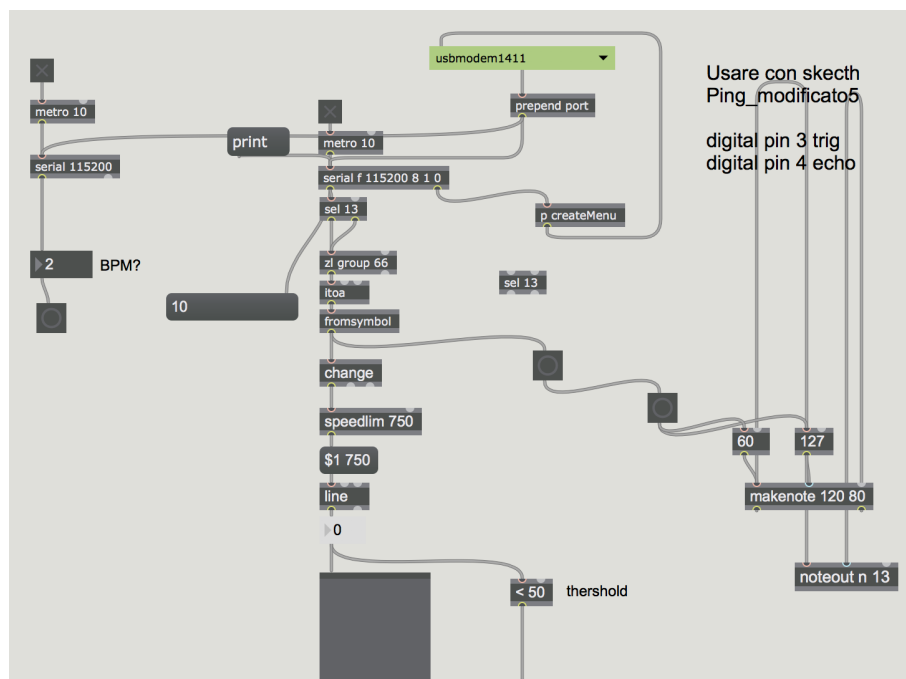


Figura 1.2: Ejemplo Max/Msp

1.5.2. PureData

PureData podría ser considerado el contraparte de código abierto a Max/MSP, pues al igual que éste se trata de un lenguaje gráfico (véase la figura 1.3) pero en esta ocasión de libre desarrollo como Csound. La principal ventaja de este lenguaje respecto a Csound es su paradigma gráfico que puede resultar atractivo a profesionales del ámbito musical o científico que no estén totalmente acostumbrados a usar los tradicionales lenguajes escritos y encuentren en PureData un acercamiento más amigable al mundo de la programación.

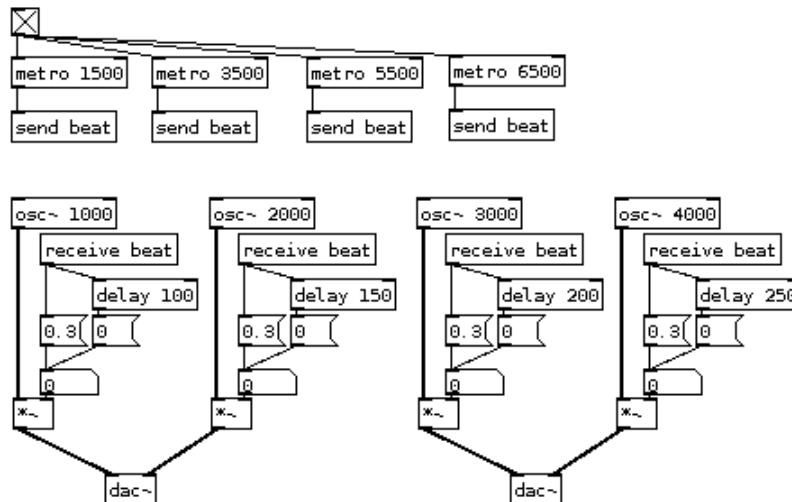


Figura 1.3: Ejemplo PureData

1.5.3. SuperCollider

SuperCollider es de entre las alternativas aquí descritas la más parecida a Csound puesto que además de tener una sintaxis de lenguaje escrito, es también de código abierto. Cuenta además con una sintaxis parecida a lenguajes muy conocidos como C o Ruby, de esta forma parecería más atractivo a iniciados y profesionales de la programación en una primera instancia. Por tanto para observar las verdaderas diferencias entre lenguajes como Csound y SuperCollider tendremos que indagar más a fondo en estos lenguajes y aprender sus características más concretas como haremos en esta ocasión con Csound.

1.6– IDEs para usar Csound

Existen varias alternativas en lo que respecta a entornos de desarrollo de Csound, a continuación se describen 3 opciones³:

1.6.1. CsoundQT

CsoundQT es el entorno de desarrollo predeterminado de Csound, prueba de ello es que se instala automáticamente cuando instalamos Csound en el equipo. Tiene una interfaz sencilla, una librería muy completa de ejemplos y capacidad de ampliación con extensiones. Es un buen entorno para tomar una aproximación lo más simplificada posible al lenguaje.

Versión actual: 0.9.6

Plataformas disponibles: Windows, OSX, Debian/Ubuntu.

Página principal: <http://csoundqt.github.io/>

³En los ejemplos de código de este documento se ha usado principalmente el IDE Cabbage, no obstante se especificará el IDE usado en cada ocasión en caso de ser necesario por diferencias de uso sustanciales.

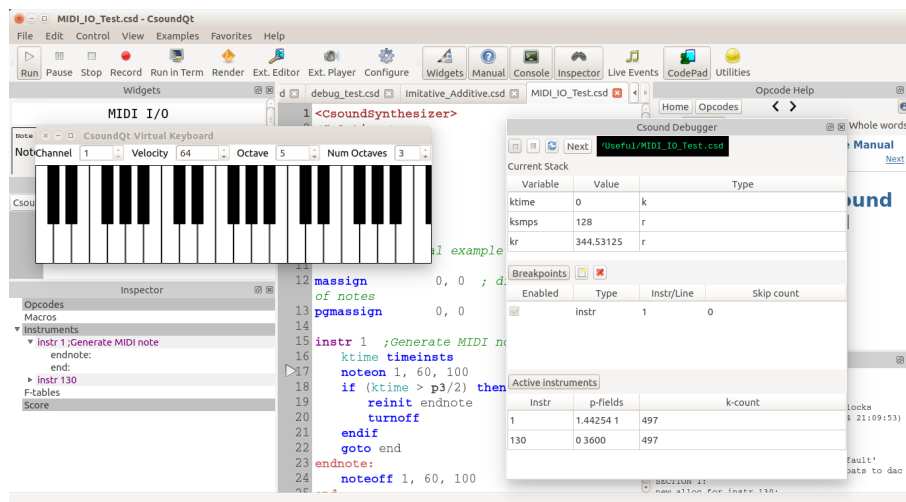


Figura 1.4: CsoundQt

1.6.2. Blue

Blue está enfocado al uso intermedio/avanzado del lenguaje Csound contando con varios plugins por defecto y una interfaz más recargada pero no por ello más difícil de usar o menos legible. Posee varias ventajas tipo framework como los Polyobject, NoteProcessors o el Orchestra manager y es de nuevo una gran opción para tener una primera toma de contacto con el Lenguaje.

Versión actual: 2.8.0

Plataformas disponibles: Windows, OSX, Linux.

Página principal: <https://blue.kunstmusik.com/>

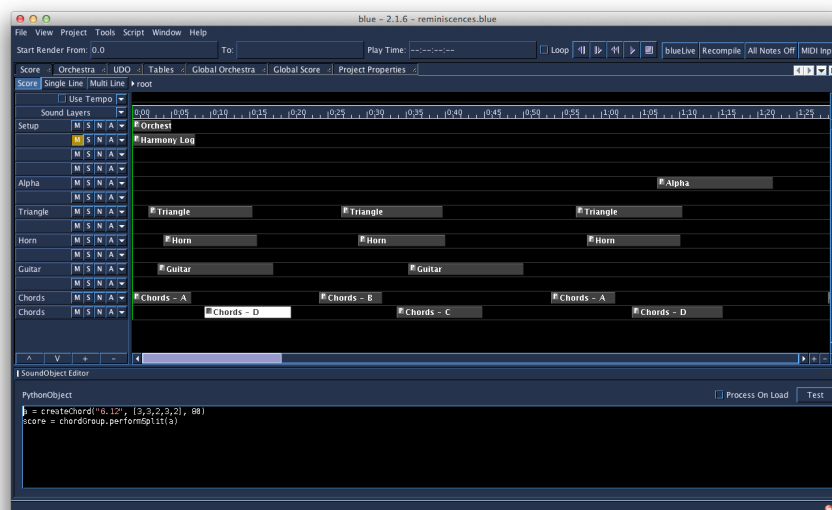


Figura 1.5: Blue

1.6.3. Cabbage

Cabbage es un IDE muy completo, posee una gran librería con utilidades de interfaz gráfica de manera que se facilita el desarrollo completo de instrumentos y plugins musicales existiendo incluso la opción de exportar el código que estamos programando como VST. Cuenta además con una interfaz personalizable y su instalador proporciona la opción de instalar la última versión de Csound si no lo teníamos instalado previamente. Por último cuenta con un instalador para sistemas android para que podamos usar los plugins que programemos con cabbage en estos sistemas.

Versión actual: 2.3.0

Plataformas disponibles: Windows, OSX, Linux.

Página principal: <https://cabbageaudio.com/>

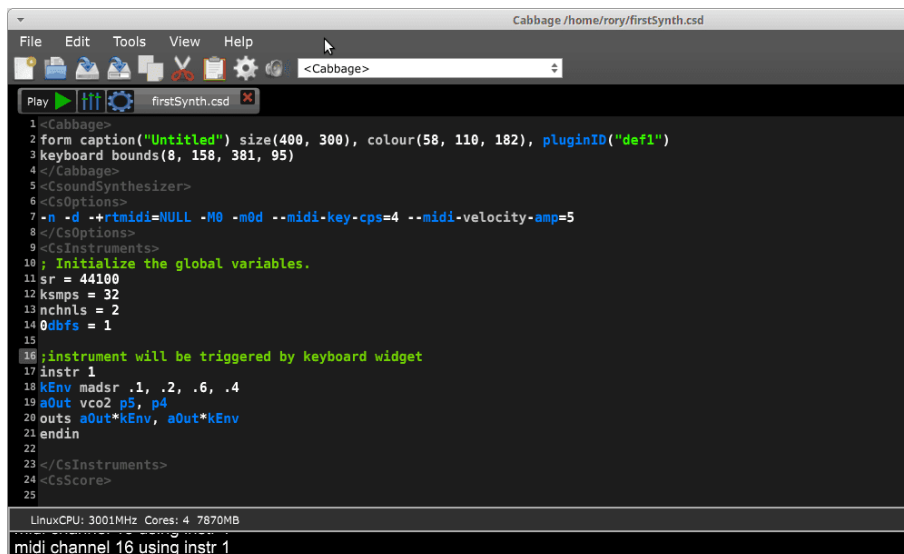


Figura 1.6: Cabbage

La Sintaxis del Lenguaje

2.1– Hello Csound!

Empecemos por mostrar cómo sería el clásico *Hello World!* en Csound. Así tendremos un código básico al que hacer referencia a lo largo de este capítulo¹:

```
1 <CsoundSynthesizer>
2 <CsOptions>
3 </CsOptions>
4 <CsInstruments>
5
6 instr 1
7     prints "Hello World!\n"
8     aSin    oscils 0dbfs/4, 440, 0
9     out     aSin
10 endin
11 ;Esto es un comentario
12 </CsInstruments>
13 <CsScore>
14 i 1 0 1
15 </CsScore>
16 </CsoundSynthesizer>
```

Código 2.1: Hello World! en Csound

2.2– A tener en cuenta

Estas son algunas consideraciones básicas del lenguaje que debemos tener presentes:

- Es sensible a mayúsculas/minúsculas.
- Usa especificadores de formato al imprimir variables.
- Para realizar comentarios en el código usaremos ; al inicio de la línea o usar /* y */ para comentar varias líneas.
- Partes del código divididas en etiquetas XML.

¹ Durante el resto del presente capítulo se hará referencia a la figura de código anterior siempre que se hable de líneas concretas de código.

2.3– División por etiquetas

Csound divide la estructura de su código con etiquetas XML, empezaremos por hablar de las más básicas: `<CsInstruments>` y `<CsScore>`. Hasta llegar a etiquetas más exclusivas como `<Cabbage>`.

- **Etiqueta `<CsInstruments>`:** En esta etiqueta se incluirán las definiciones de los instrumentos que crearemos. Un poco más adelante trataremos de entender qué es un instrumento en Csound. En nuestro ejemplo la etiqueta `<CsInstruments>` abarca desde la línea 4 a la línea 12, y podemos observar la definición de un instrumentos entre las líneas 6 y 10.
- **Etiqueta `<CsScore>`:** Aquí haremos uso práctico de nuestros instrumentos, les diremos cómo ejecutarse y durante cuánto tiempo. En el código del que disponemos, la etiqueta `<CsScore>` abarca desde la línea 13 a la 15 y tenemos un ejemplo sencillo de ejecución en la línea 14 al que volveremos más adelante.
- **Etiqueta `<CsOptions>`:** Se incluirán aquí las especificaciones técnicas para interactuar con hardware u otros dispositivos.
- **Etiqueta `<CsoundSynthesizer>`:** Todo el código, incluidas las etiquetas mencionadas anteriormente, debe estar incluido en `<CsoundSynthesizer>`. Es la forma que tiene el compilador de saber dónde empieza y dónde acaba el código Csound.
- **Etiqueta especial `<Cabbage>`:** Es la única etiqueta que no debe estar dentro de `<CsoundSynthesizer>` puesto que es exclusiva de Cabbage, IDE que usaremos principalmente en este documento. En esta etiqueta incluiremos el código referente a las opciones de personalización de interfaz gráfica de nuestro programa, hablaremos más de ella en secciones referentes al uso del IDE Cabbage. Para mayor referencia y guía de uso de esta etiqueta y su contenido, visitar la sección “La etiqueta `<Cabbage>`” del capítulo “Cabbage: Guía de uso”.

2.4– Palabras reservadas

Las palabras reservadas son variables globales con una funcionalidad especial para Csound como delimitar bloques de código o determinando valores configurables. Pueden inicializarse a un valor determinado en nuestro código que queda posteriormente grabado en el tiempo de compilación. Veamos algunas de las palabras reservadas más comunes en Csound:

- **instr/endin:** Las palabras reservadas `instr` y `endin` sirven para determinar el comienzo y el final del bloque de código necesario para crear un instrumento en Csound. Podemos ver un ejemplo de uso en las líneas 6 y 10 de la figura de código 2.1. Además debemos asignar un nombre o identificador al instrumento acompañando a la palabra reservada `instr`, en nuestro ejemplo de código le damos el nombre “1” a nuestro instrumento.
- **sr:** Indica el valor del sample rate. El valor predeterminado es de 44100Hz, es decir, 44100 veces cada segundo. Normalmente usaremos un valor 44100 o de 48000 según la compatibilidad de la tarjeta de sonido de nuestro equipo.²
- **nchnls:** Se trata del número de canales de salida de audio que usamos en nuestro programa. Con `nchnls = 1` conseguimos sonido mono, con `nchnls = 2` stereo, `nchnls = 4` cuadrafónico. (véase figura 2.1)

²Para mayor entendimiento de los conceptos relacionados al sampleo véase el apartado “El Sampleo y Sample Rate” del capítulo “Fundamentos del Sonido”

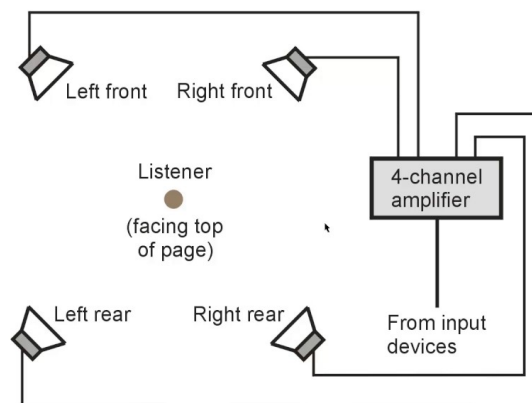


Figura 2.1: Sonido cuadrafónico

- **0dbfs**: Determina el valor relativo que usaremos en el programa como 0 decibelios y a partir del cual aumentaremos o disminuirémos los decibelios de volumen. Por defecto tiene un valor de 32767 aunque lo más lógico al usar un computador para determinar este valor es dar un valor absoluto de 0dbfs = 1 puesto que la intensidad final del sonido no depende únicamente de nuestro código sino de nuestros altavoces, la configuración de nuestra tarjeta de sonido o la configuración de nuestro IDE de Csound. Darle un valor 1 a 0dbfs nos permite tener una referencia útil y muy manejable además de ser la usada por convenio en los programas de audio digital en lugar de dar valores absolutos que bien pueden desembocar en resultados distintos a lo que deseábamos según el equipo en el que ejecutemos nuestro código.³

2.5– Las variables en Csound

En Csound encontramos 3 tipos principales de variable: **i**, **k** y **a**, que representan diferentes ratios de refresco para su valor. Para definir una variable de cualquiera de estos tipos basta con escribir i, k o a como primera letra del nombre de nuestra variable. Algunos ejemplos serían: iFreq, kAux, aCualquierNombre, etc...

Veamos a continuación qué implica elegir uno u otro tipo:

Cuando ejecutamos código Csound, una vez compilado el código e inicializada la configuración, el tiempo de ejecución se pasa recorriendo el código contenido de nuestros instrumentos en bucle. Podemos decir que nuestro código se recorre con una determinada frecuencia mientras se ejecuta, y dentro de esta frecuencia podemos seleccionar cómo de frecuentemente volveremos a determinar el valor de nuestra variables. Para determinar ese ratio usamos i,k y a.

- **Variables i**: Las variables refrescan su valor una única vez, cuando el instrumento es inicializado. A efectos prácticos se trata de constantes internas a los instrumentos.
- **Variables k**: Tienes una frecuencia de refresco media. Mayor a las variables i, menor a las variables a.
- **Variables a**: Tienen el mayor ratio de los 3 tipos puesto que estas variables refrescan su valor cada vez que Csound recorre su código.

³Para mayor entendimiento del concepto de decibelio, ir a la sección “El decibelio” del capítulo “Fundamentos del Sonido”

La principal razón para que tengamos estas diferentes opciones es poder jugar con la optimización de nuestro código. Bien podríamos hacer que todas nuestras variables fuesen de tipo ‘a’ pero esto implicaría en la mayoría de los casos un aumento de carga innecesario durante el tiempo de ejecución, que puede ser crucial si nuestro objetivo pasa por ejecutar código en directo al interpretar una pieza musical.

2.6– Los Opcodes

Los Opcodes realizan diferentes funciones predefinidas, son de hecho el equivalente más parecido a una función de librería en un lenguaje de alto nivel convencional. Por ejemplo el Opcode **reverb** aplica reverberación a la señal entrante, el opcode **poscil** produce una señal oscilatoria de alta precisión. Existe una gran variedad de Opcodes (Actualmente más de 1500) con funcionalidades muy concretas y útiles en el mundo del sonido.

2.6.1. Sintaxis del Opcode

Veamos primero la sintaxis generalizada y después un ejemplo sencillo de uso de opcode. Analicemos su sintaxis para comprenderla:

```
1 aOutput opcode input1, input2, input3, ...
```

Código 2.2: Sintaxis generalizada de un Opcode

Refiriéndonos a la figura de código 2.2. **opcode** es el nombre del opcode que queremos usar, **input1**, **input2** e **input3** representan los diferentes atributos de entrada al opcode, son generalmente valores numéricos y su cantidad es indeterminada. Existen opcodes sin atributos de entrada. Por último **aOutput** es la variable de salida del opcode en la que vamos a guardar nuestro resultado esperado a la que haremos referencia más adelante en nuestro código. Podríamos resumir la sintaxis básica de uso de opcodes en: **salida** ← **función** ← **entrada/s**

```
1 aSin oscils 0dbfs/4, 440, 0
```

Código 2.3: Ejemplo de uso del Opcode oscils

Observemos un uso práctico del opcode **oscils** en la figura de código 2.3:

- **Salida:** La variable de salida es **aSin** (variable de tipo ‘a’) en la que quedará guardada la información de la onda generada y cuyo valor se refrescará cada vez que Csound recorra el instrumento contenedor.
- **Función:** El opcode es **oscils** cuya funcionalidad es generar una señal oscilatoria sinoidal, este opcode requiere de 3 variables de entrada de las que hablaremos a continuación.
- **Entradas:** Observamos 3 entradas, **0dbfs/4, 440, 0** → **iamp, icps, iphs**. Hablemos de cada una de ellas: 0dbfs/4 (recordemos el uso de 0dbfs como palabra reservada)
 - **iamp:** Cuyo valor es 0dbfs/4. Se trata del valor de la amplitud de onda de salida, es decir, la amplitud de la onda de salida tendrá el valor de un cuarto del valor marcado en nuestro código como 0 decibelios (**0dbfs**).
 - **icps:** Frecuencia de la onda de salida en Hz. El valor en nuestro ejemplo es de 440, por lo tanto obtendremos una frecuencia de onda de salida de 440Hz.
 - **iphs:** Determina la fase de onda de la onda de salida, nuestro valor es 0 por lo que nuestra onda de salida comienza en su fase 0.⁴

⁴Para comprender el concepto de fase de onda, acudir al capítulo “Fundamentos del sonido” sección “La onda y sus características”

Como podemos observar, una vez comprendida, la sintaxis de uso de los opcodes es sencilla pero muy concreta al no parecerse del todo a la sintaxis de lenguajes más convencionales. Para usar de forma satisfactoria los opcodes debemos tener presente la librería de referencia canónica de Csound: <http://www.csound.com/manual/html/PartReference.html> donde encontraremos una librería muy amplia de ejemplos de uso concreto de cada uno de los opcodes disponibles.

2.7– Los Score events

Los **Score events** son las líneas de código que van dentro de la etiqueta `<CsScore>`. Por ejemplo, volvamos a nuestro “Hola mundo”(figura de código 2.1), revisemos el score “**i 1 0 1**”y comprendamos su sintaxis:

Para ejecutar un instrumento usaremos la siguiente sintaxis base:

[i identificador instanteInicial duración]

Siendo **identificador** el nombre del instrumento que vamos a usar, **instanteInicial** el tiempo desde el momento de ejecución del código que tarda en iniciarse nuestro instrumento y **duración** la cantidad de tiempo durante la cual se ejecuta el instrumento.

2.8– Usando lo aprendido en un Sintetizador MIDI

Para afianzar lo aprendido sobre la sintaxis de Csound, vamos a programar un sintetizador MIDI básico que haga uso de las funcionalidades más elementales del lenguaje.

2.8.1. El instrumento base `<CsInstruments>`

Vamos a usar el opcode **vco2**, que genera una onda oscilatoria limitada por banda. Veamos en primer lugar cómo usar este opcode: **ares vco2 kamp, kcps**. Tenemos dos atributos de entrada obligatorios, **kamp** que define la amplitud de la onda y **kcps** para determinar su frecuencia. Para nuestro ejemplo, **aOut** contendrá la información referente a una de amplitud 1 y frecuencia 440Hz. Con la línea **out aOut** se indica que el valor de salida que se devuelve al usar nuestro instrumento es el de **aOut**.

Y aquí nuestro instrumento en su forma base:

```
1 instr 1
2 aOut vco2 1, 440
3 out aOut
4 endin
```

Código 2.4: Instrumento base del sintetizador

Inicialicemos además algunas variable globales y retoquemos algunas variables internas de nuestro instrumento:

```
1 sr = 44100
2 ksmps = 32
3 nchnls = 2
4 0dbfs = 1
```

Código 2.5: Variables globales inicializadas

Usaremos el opcode de esta manera: **aOut vco2 iAmp, iFreq**, siendo **iFreq = p4** y **iAmp = p5**. Estas variables, p5 y p4, las determinan los valores de entrada MIDI con el objetivo de usar nuestro sintetizador de forma dinámica.

2.8.2. Las opciones de configuración <CsOptions>

Veamos qué opciones de configuración podemos añadir a nuestro sintetizador. Será importante para que el uso de señales MIDI sea funcional así que usaremos la opción **-+rtmidi=NULL -M0 -m0d**. No usaremos plgins MIDI de tiempo real en este ejemplo así daremos el valor **NULL** a **-+rtmidi**, con **-M** seguido de un identificador podremos seleccionar qué dispositivo vamos a usar. Como sólo tendremos disponible el dispositivo virtual de Cabbage, usaremos **-M0**.

Para relacionar las variables de nuestro instrumento como comentamos anteriormente usaremos **-midi-key-cps=4** para pasar la frecuencia de la nota MIDI actual a **p4** y **-midi-velocity-amp=5** para pasar la velocidad de pulsación a **—textbfp5**.

Bastará de momento con tener un entendimiento básico de la etiqueta <CsOptions> de momento, aunque profundizaremos en ella más adelante.

Quedaría así nuestro código:

```
1 -+rtmidi=NULL -M0 -m0d --midi-key-cps=4 --midi-velocity-amp=5
```

Código 2.6: Opciones de configuración

2.8.3. Ejecutando nuestro instrumento <CsScore>

La etiqueta <CsScore> contiene nuestros **score events** aunque en esta ocasión no vamos a necesitarlos como tal, únicamente usaremos el score **f0 z** que sirve para indicar a Csound que se quede esperando eventos tanto tiempo como queramos. Esto ideal para el caso puesto que queremos que Csound escuche nuestros eventos de señal MIDI.

2.8.4. Creando una interfaz <Cabbage>

Usaremos dos widgets de forma sencilla⁵. En primer lugar un widget **form** para crear la ventana base de la interfaz, que tendrá un identificador **size(Width, Height)** para definir el tamaño de la ventana, un identificador **colour(r, g, b)** para dar un color personalizado al fondo de la ventana en formato rgb y por último un identificador **pluginid(id)** (único identificador obligatorio) para dar un nombre identificativo a la ventana y poder hacer referencia a ella en el resto del código.

En segundo lugar usaremos un widget tipo **keyboard** para crear nuestro teclado virtual que hará las veces de instrumento MIDI. Tendrá un único identificador **bounds(x, y, width, height)** para determinar la posición de coordenadas y el tamaño del teclado.

Un posible ejemplo quedaría tal que así:

```
1 form caption("Primer Sinte") size(450, 300), colour(250, 110, 20),
  pluginID("sin1")
2 keyboard bounds(30, 150, 380, 100)
```

Código 2.7: La interfaz del teclado

⁵Se recomienda revisar la sección “Los widgets” del capítulo “Cabbage: Guía de uso”.

Y el resultado al ejecutar esta parte del código será algo parecido a esto:

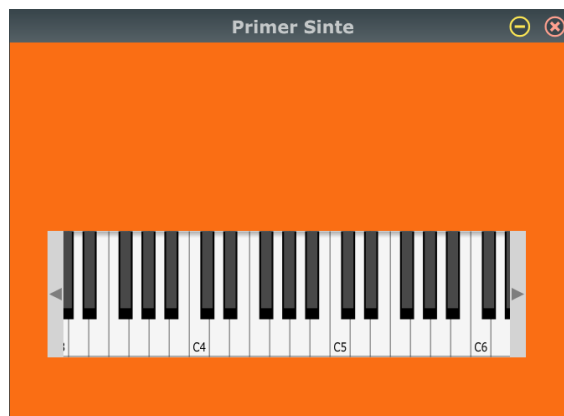


Figura 2.2: Nuestro primer sintetizador

2.8.5. El teclado básico

Si unimos todas las partes, nuestro código queda de esta manera:

```

1 <Cabbage>
2 form caption("Primer Sinte") size(450, 300), colour(250, 110, 20),
  pluginID("sin1")
3 keyboard bounds(30, 150, 380, 100)
4 </Cabbage>
5 <CsoundSynthesizer>
6 <CsOptions>
7 +rtmidi=NUL -M0 -m0d --midi-key-cps=4 --midi-velocity-amp=5
8 </CsOptions>
9 <CsInstruments>
10 sr = 44100
11 ksmpls = 32
12 nchnls = 2
13 0dbfs = 1
14
15 instr 1
16 iFreq = p4
17 iAmp = p5
18 aOut vco2 iAmp, iFreq
19 outs aOut, aOut
20 endin
21
22 </CsInstruments>
23 <CsScore>
24 f0 z
25 </CsScore>
26 </CsoundSynthesizer>

```

Código 2.8: Un teclado básico funcional

Este teclado es ya ciertamente funcional pero para tener un ejemplo más completo y poder llamar ‘sintetizador’ a este instrumento vamos a añadirle un envelope ADSR⁶. Así conseguiremos las funcionalidades básicas de cualquier instrumento eléctrico.

⁶Se recomienda revisar la sección “El ADSR” del capítulo “Fundamentos del sonido”

2.8.6. Convirtiendo el teclado en un sintetizador

En primer lugar, para añadir un envelope ADSR, podemos seleccionar alguna de las muchas opciones que ofrece Csound en materia de opcodes. Uno de los más sencillos y que puede servirnos perfectamente es el opcode **madsr** cuya sintaxis es **kenv madsr iatt, idec, islev, irel**. Siendo **iatt** el valor de ataque, **idec** el valor de decay, **islev** el valor de sustain u **irel** el valor de release. Recordemos también que las variables *i* son a efectos prácticos variables constantes del instrumento, que refrescarán su valor en este caso entre pulsación y pulsación de una nota.

Bastaría ahora con aplicar este envelope a nuestra onda de salida, una de tantas maneras es multiplicando la salida del opcode **madsr** a los canales de salida de nuestro instrumento de esta forma: **outs aOut*kEnv, aOut*kEnv**.

Necesitamos también dar un valor a los parámetros **iatt**, **idec**, **islev** y **irel**. Podríamos dar valores fijos aunque esto no tendría un uso demasiado funcional, por lo tanto vamos a aprovechar las opciones de interfaz que proporciona Cabbage para vincular estos valores a 4 widgets de tipo slider. Veamos cómo crear el slider para el valor de ataque:

```
1 rslider bounds (12, 14, 105, 101), channel("ata"), range(0, 1, 0.01, 1,
    .01), text("Ataque")
```

Código 2.9: El slider para el valor de ataque

El widget slider no es nuevo, aunque debe destacarse el identificador **channel(chan)** que se usa para otorgar al slider un nombre de canal al que se vincula su valor de salida y que más tarde podremos usar en nuestro código.

Se omite la especificación de los otros 3 sliders que añadiremos pues su sintaxis es análoga cuidándonos únicamente de dar un nombre de canal distinto en cada ocasión.

Haremos uso también del sencillo opcode **chnget** para vincular los canales que hemos creado en los sliders con variables que Csound pueda procesar. Su sintaxis es básica: **ival chnget Sname** siendo **Sname** el nombre del canal asociado.

Quedaría nuestro código de vinculación de la siguiente manera:

```
1 iAtt chnget "ata"
2 iDec chnget "dec"
3 iSus chnget "sus"
4 iRel chnget "rel"
```

Código 2.10: Vinculación de canales a variables

2.8.7. Últimos detalles

Para concluir vamos a añadir un par de efectos útiles a nuestro sintetizador, el **cutoff** y la **resonancia**. Una forma sencilla de conseguirlo es usando el opcode **moogladder**, cuya sintaxis es: **asig moogladder ain, kcf, kres**. Siendo **ain** la onda a la que añadir los efectos, **kcf** el valor del cutoff y **kres** el valor de resonancia.

Para el caso vamos a darle a **ain** el valor de **aOut**, es decir, nuestra onda resultante de usar el opcode **vco2**. Para los valores de cutoff y resonancia crearemos simplemente un par de sliders y vincularemos sus valores a variables de Csound del mismo modo que hicimos antes.

2.8.8. El resultado final

Y aquí tenemos al fin el código completo de nuestro sintetizador con efectos:

```

1 <Cabbage>
2 form caption("Primer Sinte") size(450, 300), colour(250, 110, 20),
  pluginID("sin1")
3 keyboard bounds(14, 88, 413, 95)
4 rslider bounds(12, 14, 70, 70), channel("att"), range(0, 1, 0.01, 1,
  .01), text("Ataque")
5 rslider bounds(82, 14, 70, 70), channel("dec"), range(0, 1, 0.5, 1,
  .01), text("Decay")
6 rslider bounds(152, 14, 70, 70), channel("sus"), range(0, 1, 0.5, 1,
  .01), text("Sustain")
7 rslider bounds(222, 14, 70, 70), channel("rel"), range(0, 1, 0.7, 1,
  .01), text("Release")
8 rslider bounds(292, 14, 70, 70), channel("cutoff"), range(0, 22000,
  2000, .5, .01), text("Cut-Off")
9 rslider bounds(360, 14, 70, 70), channel("res"), range(0, 1, 0.7, 1,
  .01), text("Resonance")
10 </Cabbage>
11 <CsoundSynthesizer>
12 <CsOptions>
13 -n -d --rtmidi=NULL -M0 -m0d --midi-key-cps=4 --midi-velocity-amp=5
14 </CsOptions>
15 <CsInstruments>
16 sr = 44100
17 ksmpts = 32
18 nchnls = 2
19 0dbfs = 1
20
21 instr 1
22 iFreq = p4
23 iAmp = p5
24
25 iAtt chnget "ata"
26 iDec chnget "dec"
27 iSus chnget "sus"
28 iRel chnget "rel"
29 kRes chnget "res"
30 kCutOff chnget "cutoff"
31
32 kEnv madsr iAtt, iDec, iSus, iRel
33 aOut vco2 iAmp, iFreq
34 aLP moogladder aOut, kCutOff, kRes
35 outs aLP*kEnv, aLP*kEnv
36 endin
37
38 </CsInstruments>
39 <CsScore>
40 f0 z
41 </CsScore>
42 </CsoundSynthesizer>

```

Código 2.11: Un sintetizador funcional

Con esto termina la introducción a la sintaxis del lenguaje. Como puede observarse, aunque Csound parezca algo enrevesado a primera vista y sin conocimientos previos, una vez entendido el esquema básico y la lógica sintáctica es fácil entender y escribir código lo suficientemente

elaborado como para obtener instrumentos completamente funcionales sin no demasiado esfuerzo. Seguiremos profundizando en el potencial de Csound en posteriores capítulos ahora que hemos alcanzado el nivel fundamental para poder seguir las lecciones sin perdernos.

Profundizando en los conceptos básicos

Profundicemos en algunos conceptos que crean normalmente confusión entre los usuarios de Csound.

3.1– Las diferencias entre variables **i-rate** y **k-rate**

Es común confundir el uso de variables **i-rate** con el de variables **k-rate**. Vamos a resolver algunas dudas y a exponer ejemplos de casos en los que usar normalmente cada tipo.

En primer lugar debemos entender que, como en cualquier lenguaje al uso, las variables en Csound se inicializan al comenzar la ejecución. La diferencia radical que podemos encontrar a partir de este momento entre variables **i-rate** y **k-rate** es que las **i-rate** van a quedarse con este valor de inicialización. Esto es fácil de entender pero, ¿Qué pasa entonces con las variables **k-rate**?

La duración de un **k-cycle**, es decir, el tiempo (que puede medirse en cantidad de samples) que pasa desde la última vez que se refrescaron los valores de las variables **k-rate** hasta la siguiente vez que se refrescan.

Este valor, **k-cycle**, es dinámico. Depende de la cantidad de variables tipo k de nuestro código, del valor que le demos a la palabra reservada **ksmps** y del sample rate seleccionado. Veámoslo con un ejemplos:

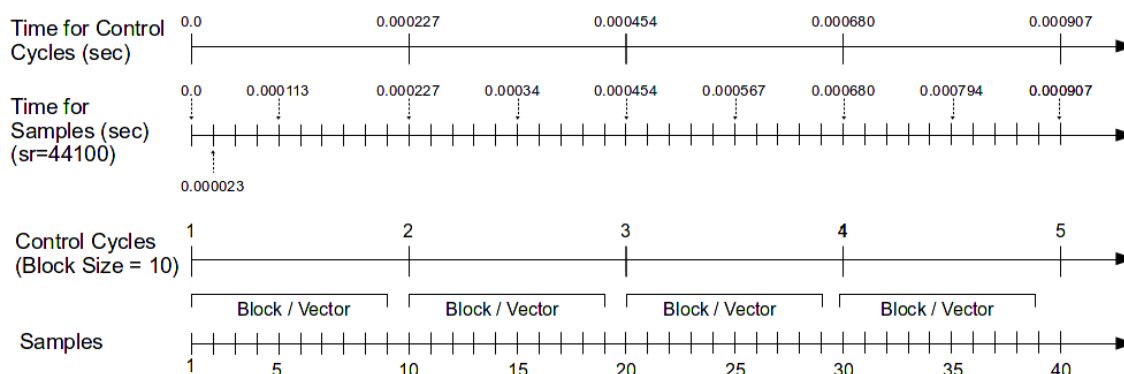


Figura 3.1: La duración de los K-Cycles

Para el gráfico anterior hemos seleccionado un sr (sample rate) de 44100 y un Block Size (cuyo equivalente en Csound sería la palabra reservada **ksmps** que mencionamos antes) con valor 10.

Sabemos que el tiempo que tarda en realizarse una muestra o sample es un segundo dividido por el número total de tomas, es decir: $1/44100$ que da $0.0000227s$. Y sabemos también que el **k-cycle** dura 10 samples (también podemos llamarlos ticks), es decir: $0.0000227 * 10 = 0.000227s$.

Por lo tanto, en un código con la configuración anterior y un valor de **ksmps = 10** podremos decir que:

- Las variables **i-rate** determinarán su valor en la inicialización y lo mantendrán durante el tiempo total de ejecución del código.
- Las variables **k-rate** refrescarán su valor cada 10 samples o ticks (que podemos llamar bloque de control), en este caso, se refrescarán cada 0.000227 segundos.
- Las variables **a-rate** refrescarán su valor un vez por cada sample, siendo el ratio de refresco determinado en su totalidad por la frecuencia escogida como sr. En este ejemplo renuevan su valor cada 0.0000227 segundos.

Tener un conocimiento suficiente acerca del funcionamiento de las variables **k-rate** puede hacer que nuestro código acabe siendo mucho más eficiente y optimizado pero como nota general puede bastarnos con recordar que: Las variables **i-rate** deben usarse cuando sepamos que algo debe ser hecho una única vez y de manera puntual, y las variables **k-rate** deben usarse cuando necesitemos que algo se haga continuamente pero sepamos que ese algo no necesita ser hecho cada vez que se realiza un sample.

3.2– Las f-variables, w-variables y S-variables

Existen dos tipos de variables en csound que son algo más especiales que las vistas hasta ahora:

- **Las f-variables:** Son variables usadas por algunos opcodes (los que empiezan por **pvs**), y se usan principalmente para la realización de *Transformadas rápidas de Fourier*. Su ratio de refresco es el mismo que para las variables **k-rate** pero su valor depende de algunos parámetros de las transformadas que hemos mencionado.
- **Las w-variables:** Podemos encontrar el uso de estas variables en algunos opcodes antiguos aunque su uso es ya prácticamente por razones hereditarios por lo que no profundizaremos en ellas.
- **Las S-variables:** Son variables de tipo **String**, serán necesarias para usar algunos opcodes cuyo resultado sea una variable de este tipo.

3.3– El ámbito global y local de las variables

Las variables contenidas en el código de un instrumento son generalmente de ámbito local, es decir, podría crear una variable con el mismo nombre dentro de todos mis instrumento sin que exista ningún tipo de conflicto.

Las variables globales sin embargo deben ser únicas cada vez que escribamos un valor sobre ellas, su valor cambiará para cualquier futura lectura. Para hacer que una variable sea de tipo global debemos hacer que **g** sea la primera letra del nombre de esa variable. Algunos ejemplo de nombre de variable global serían: **gaGlobal**, **giConstante** o **gkResultado**.

Una alternativa al uso de las variables globales es el uso del opcode **chnget** para realizar conexiones de canal entre variables. Es el método usado en la etiqueta **<Cabbage>** para relacionar los widgets con el resto del código sin hacer uso de variables globales.

3.4– Las estructuras de control

En Csound como en la mayoría de lenguajes existen las estructuras de control: Sentencias **if-else**, bucles **while/until** y los llamados **timouts**. Vamos a explicarlas centrándonos en la peculiaridades de uso respecto al lenguaje.

3.4.1. Sentencias if-else

La forma más común de este tipo de sentencia en Csound es **If - then - [elseif - then -] else**:

```
1 if <condicion1> then
2   codigo...
3 elseif <condicion2> then
4   codigo...
5 else
6   codigo...
7 endif
```

Código 3.1: Sintaxis base de la sentencia if-else

Lo único a destacar sería que la palabra **then** debe estar en la misma línea de código que la palabra **if**, pero no ahondaremos más en este tipo de sentencia al tratarse de nociones básicas de la programación.

Csound permite también la sintaxis de lenguaje descriptivo (**a v b ? x : y**): De ser verdadera la condición **a**, el valor devuelto es **x**. De ser falsa (y por tanto ser cierta **b**) el valor devuelto es **y**. Un ejemplo práctico de uso sería: **kRes = (kVar <1 ? 0 : 1)**; Si **kVar** es menor que uno se devuelve 0, de lo contrario se devuelve 1.

3.4.2. Bucles While/Until

```
1 while <condicion> do
2   codigo...
3 od
4
5 until <condicion> do
6   codigo...
7 od
```

Código 3.2: Sintaxis base de los bucles while-until

Estos bucles funcionan de forma análoga, la única diferencia entre ellos es que el bucle **while** se seguirá ejecutando siempre y cuando la condición sea verdadera y el bucle **until** se seguirá ejecutando siempre y cuando la condición sea falsa.

3.4.3. El timeout

El **timeout** es un opcode para generar bucles de una duración determinada.

```
1 first_label:
2   timeout istart, idur, second_label
3   reinit first_label
4 second_label:
5   codigo...
```

Código 3.3: Sintaxis base del timeout

En primer lugar **first_label** y **second_label** son etiquetas de referencia a las que podemos saltar desde otras partes del código. El opcode (**timeout istart, idur, second_label**) tiene tres

parámetros de entrada: **istart** el instante de inicio, **idur** la duración de timeout y **second_label** el nombre de la etiqueta de la parte del código a la que queremos saltar, en este caso por lógica la segunda. El segundo opcode necesario para el funcionamiento es (**reinit first_label**) que da la orden directa de saltar a la parte del código referida por **first_label**.

Entendamos el uso de **timeout** con un ejemplo práctico:

```
1 instr 1
2 loop:
3 idur    random .5, 3
4         timeout 0, idur, play
5         reinit  loop
6 play:
7 kFreq   expseg 400, idur, 600
8 aTone   poscil .2, kFreq, giSine
9         outs   aTone, aTone
10 endin
```

Código 3.4: Ejemplo real de uso del timeout

Hemos definido una variable **idur** a la que damos un valor aleatorio entre (0,5 y 3) mediante el opcode **random**. Acto seguido usamos el opcode **timeout** para saltar desde el instante **0**, durante ese **valor aleatorio de segundos**, a la etiqueta **play** donde se ejecuta el opcode **poscil** que genera una onda de sonido. Una vez acabado ese periodo de tiempo se ejecuta el opcode **reinit** que nos hace saltar a la etiqueta **loop** y vuelta a empezar.

3.5– Los Arrays de datos

Al igual que en cualquier lenguaje con cierto nivel de complejidad, en Csound existen los **Arrays** o vectores de datos. Veamos las peculiaridades del lenguaje en el uso de este tipo de estructuras.

3.5.1. Propiedades de los Arrays

En Csound podemos pensar en cinco propiedades características al definir un Array:

- **Dimensiones:** Los elementos de un array pueden leerse mediante la sintaxis **kArr[i]** siendo **i** la posición del elemento al que queremos acceder en un array unidimensional. De igual manera podemos acceder a los elementos de un array de dos dimensiones con la sintaxis **kArr[i][j]**. De forma análoga para arrays tridimensionales.
- **i- o k-Rate:** Los arrays son variables y como tal pueden definirse como variable i-rate o k-rate.
- **Local o Global:** De la misma manera podemos hacer de nuestro array una variable global añadiendo la letra **g** al principio del nombre.
- **Arrays de Strings:** Los arrays de Csound pueden contener variables String además de número por lo que podemos clasificarlos también de esta manera.
- **Arrays de señales digitales:** Por último podemos conectar canales y salidas de opcodes a las posiciones de un array para facilitar el trabajo con las señales de audio.

3.5.2. Opcodes útiles

Estos son algunos de los opcodes que podemos usar al trabajar con arrays:

- **init**: El opcode que usamos para inicializar un array, para su sintaxis únicamente necesitamos aportar el tamaño de cada una de las dimensiones del array que estamos definiendo. Por ejemplo: **kArr[] init 5** para un array unidimensional de longitud 5.
- **fillarray**: Para añadir una serie de valores a nuestro array. Veamos un ejemplo: **kArr[] fillarray 1, 2, 3, 4, 5** que añade los valores 1, 2, 3, 4 y 5 al array.
- **genarray**: Genera un array al que se le añaden los valores comprendidos entre los valores de entrada del opcode. Un ejemplo de uso: **kArr[] genarray 1, 5** que crea un array al que se le añaden los valores 1, 2, 3, 4 y 5.
- **lenarray**: Devuelve el tamaño actual de un array. **kTam lenarray kArr** devolvería el tamaño de kArr.
- **slicearray**: Nos sirve para generar un subarray desde un índice inicial hasta un índice final del array original introducido como parámetro de entrada en el opcode. Su sintaxis base es: **kSlice[] slicearray kArr, iStart, iEnd**. Y un ejemplo de uso sería **kSub[] slicearray kArr, 0, 2** que para el array **kArr=[4,3,2,1,0]** devolvería como resultado **kSub=[4,3,2]**
- **minarray**: Este opcode devuelve el valor más pequeño de todo el array y de manera opcional su índice si especificamos una variable para guardarla. Su sintaxis base es: **kMin [,kMinIndx] minarray kArr**.
- **maxarray**: Este opcode devuelve el mayor valor de todo el array y de manera opcional su índice si especificamos una variable para guardarla. Su sintaxis base es: **kMax [,kMaxIndx] maxarray kArr**.
- **sumarray**: Devuelve la suma de todos los valores del array numérico. Su sintaxis es **kSum sumarray kArr** y siendo **kArr=[1,1,1,1]** resultaría **kSum = 3**.
- **scalearray**: Escala los valores de un array en referencia a un valor mínimo y a un valor máximo. Veamos un ejemplo de uso:

```
1 kArr[] fillarray values
2   scalearray kArr, kmin, kmax
```

Código 3.5: Uso del scalearray

Tenemos el array **kArr=[1,3,9,5,6]**, donde el valor más pequeño es 1 y el valor más grande es 9. Cuando hacemos uso del opcode (**scalearray kArr 1,3**) estaremos escalando con las siguientes referencias relativas: **1 ↔ 1 (kmin)** y **9 ↔ 3 (kmax)**. De la misma manera el resto de valores de **kArr** quedarán en referencia también a **kmin** y **kmax**. El resultado para (**scalearray kArr 1,3**) con **kArr=[1,3,9,5,6]** sería **kArr=[1, 1.5, 3, 2, 2.25]**.

- **maparray**: Aplica un opcode en formato función a cada uno de los valores del array. Su sintaxis base es: (**kRes maparray kArr, "fun"**). Siendo **fun** la función que queremos usar de entre las siguientes opciones: **abs, ceil, exp, floor, frac, int, log, log10, round, sqrt**. Por ejemplo, la operación (**kRes maparray kArr, sqrt**) aplica la función **sqrt()** a cada elemento del array **kArr** y almacena los resultados en **kRes**.

3.5.3. Operaciones con arrays

Se pueden usar los cuatro operadores básicos (+, -, *, /) para sumar, restar, multiplicar y dividir arrays. Si el operador se aplica entre el array y un número, la operación se realiza a todos los elementos del array, por lo que guardar los resultados en un nuevo array es una buena práctica. Por ejemplo si tenemos el array **kArr**=[1,1,1] y realizamos la operación **kSuma = kArr + 1** obtendremos **kSuma**=[2,2,2].

Por otra parte, si realizamos la operación entre dos arrays del mismo tamaño, el cálculo tendrá en cuenta cada pareja de valores de la misma posición de cada array. Si tenemos el array **kArr1**=[10,10,10] y el array **kArr2**=[1,2,3] y realizamos la operación **kArr3 = kArr1 + kArr2** obtenemos **kArr3**=[11,12,13].

3.6– Funciones de entrada/salida

Muchos de los opcodes de Csound pueden expresarse mediante la sintaxis funcional que se usa en tantos otros lenguajes: **fun(arg1, agr2...)**. Hablemos de algunos de los opcodes que más se usan en su formato funcional.

- **abs**: Devuelve el valor absoluto del parámetro de entrada **arg**.
Sintaxis: **abs(arg)**
Ejemplo: **abs(-2) = 2**
- **ceil**: Devuelve el menor número entero posible que sea mayor que **arg**.
Sintaxis: **ceil(arg)**
Ejemplo: **ceil(0.999) = 1**
- **exp**: Devuelve el número e (2,718...) elevado a la potencia de **arg**.
Sintaxis: **exp(arg)**
Ejemplo: **exp(2) = 7.389**
- **frac**: Devuelve la parte fraccionaria de **arg**.
Sintaxis: **frac(arg)**
Ejemplo: **frac(2.1234) = 0.1234**
- **int**: Devuelve la parte entera de **arg**.
Sintaxis: **int(arg)**
Ejemplo: **int(2.1234) = 2**
- **log**: Devuelve el logaritmo natural de **arg**.
Sintaxis: **log(arg)**
Ejemplo: **log(8) = 2.079**
- **sqrt**: Devuelve la raíz cuadrada de **arg**. Sintaxis: **sqrt(arg)**
Ejemplo: **sqrt(25) = 5**

3.7– Creando un opcode (UDOs)

En Csound, un opcode creado por un usuario recibe el nombre de **UDO** (**U**ser **C**reated **O**pcodes). Definir un **UDO** es simplemente escribir parte del código que incluiríamos en un instrumento, dentro de un bloque especial para luego poder usarlo a efectos prácticos de la misma manera que usamos cualquier opcode.

La sintaxis base para definir un UDO es:

```
1 opcode name, outtypes, intypes
2 inNames xin
3 codigo...
4 xout outNames
5 endop
```

Código 3.6: Sintaxis base de un UDO

Vamos por partes, las palabras **opcode** y **endop** marcan el inicio y el final del bloque de código en el que se define nuestro UDO. En la línea 1 de la figura de código anterior observamos: **name** que será el nombre de nuestro UDO, **outtypes** donde marcaremos el tipo de variable de las variables de salida del UDO y **intypes** donde marcaremos el tipo de variable de las variables de entrada. La sintaxis para usar **outtypes** e **intypes** es simplemente un string con una letra por cada variable de entrada o salida especificando su tipo.

Por ejemplo, esta sería la cabecera del bloque de código de un UDO con dos variables de salida, una tipo **i-rate** y otra tipo **k-rate**; y una variable de entrada **k-rate**: (**opcode miOpcode, ik, k**)

Los opcodes **xin** y **xout** nos sirven respectivamente para recoger las variables de entrada, dándoles un nombre identificativo para usarlo en el resto del UDO, y para definir cuál o cuáles serán las variables de salida.

Por último, **inName** y **outName** representan los nombres de esas variables de entrada y salida que además deben respetar la nomenclatura de uso de tipos en Csound empezando por a, i, k, etc... Según corresponda en la definición de la primera línea del bloque.

Vamos a crear un ejemplo de UDO para realizar ecuaciones de segundo grado: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

```
1 opcode SegundoGrado, ii, iii
2 iVarA, iVarB, iVarC xin
3 ioutPos = ((iVarB*-1)+sqrt(iVarB^2 - (4*iVarA*iVarC)))/(2*iVarA)
4 ioutNeg = ((iVarB*-1)-sqrt(iVarB^2 - (4*iVarA*iVarC)))/(2*iVarA)
5 xout ioutPos, ioutNeg
6 endop
```

Código 3.7: UDO para ecuaciones de segundo grado

Y para usar nuestro opcode en un instrumento:

```
1 instr 1
2 iVarA = 4
3 iVarB = 12
4 iVarC = 2
5 iResPos, iResNeg SegundoGrado iVarA, iVarB, iVarC
6 print iResPos
7 print iResNeg
8 endin
```

Código 3.8: Uso del opcode SegundoGrado en un instrumento

3.8– Las macros

CAPÍTULO 4

Haciendo Música en Directo

inttt

4.1– secc

Cabbage: Guía de uso

Cabbage es un IDE para el lenguaje Csound. Es de código abierto y está desarrollado por Rory Walsh.

Será el principal IDE que usaremos a lo largo de este documento puesto que además de contar con todas las comodidades necesarias para el funcionamiento del lenguaje, aporta además funcionalidades para crear interfaces gráficas para nuestro software de manera muy simple pero vistosa.

Se presenta el siguiente capítulo con la intención de dar una guía básica referencial de funcionamiento a la que acudir en caso de ser necesario durante el curso del resto de contenidos.

5.1– Instalación de Cabbage

Cabbage puede instalarse en sistemas Windows, OSX y Linux. Posee incluso un instalador en versión beta para sistemas Android.

Pasos para la instalación en Windows y OSX:

- Acudir a la página <https://cabbageaudio.com/download/> donde encontraremos los enlaces de descarga.
- Seleccionar la versión adecuada para nuestro sistema, en este caso Windows u OSX.

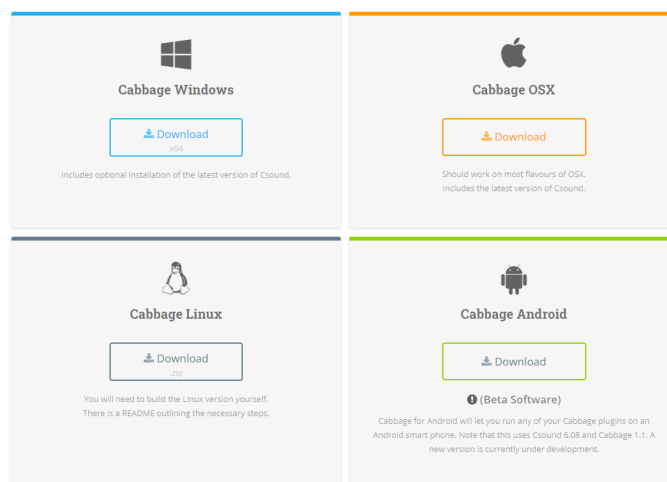


Figura 5.1: Versiones disponibles

- Ejecutamos el archivo descargado y seguimos los pasos de instalación. Para los instaladores de Windows y OSX se incluye una instalación automática del lenguaje Csound en nuestro sistema por lo que una vez instalado Cabbage todo estará listo para usar.

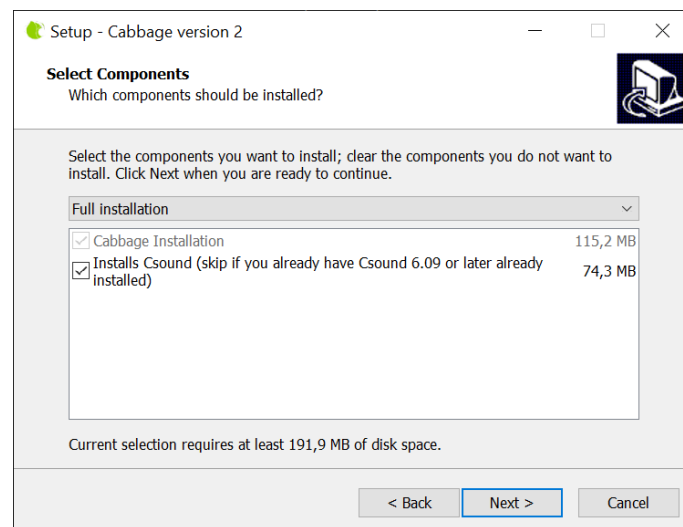


Figura 5.2: Pasos de la instalación

- Por último podemos ejecutar el acceso directo que se instala automáticamente en nuestro escritorio y empezar a usar Csound. Como se observa, Csound tiene una instalación muy fácil en estos sistemas.

5.2– Opciones del IDE

La extensión de los archivos de código Csound es **.csd**. Por supuesto, Cabbage puede abrir y ejecutar estos archivos además de que podemos encontrar una enorme librería de ejemplos que trae la instalación del IDE por defecto:

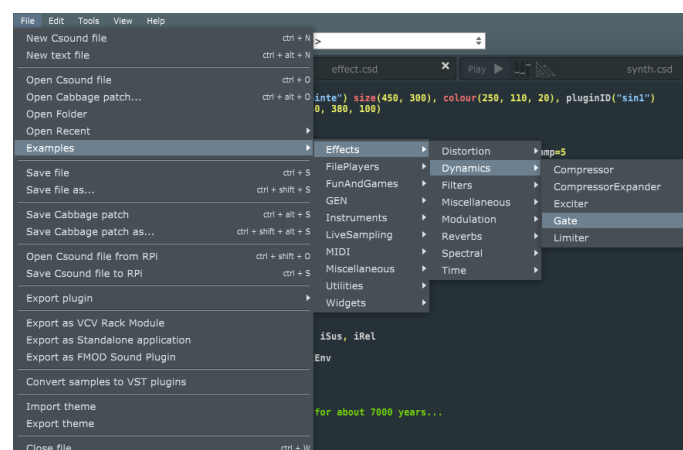


Figura 5.3: Ejemplos disponibles en el IDE

5.2.1. Creando un nuevo archivo

Para crear un nuevo archivo .csd basta con clicar el icono correspondiente en la barra superior (el primero empezando por la izquierda) o clicando en **File>New Csound File**. Aparecerá una ventana con cuatro posibles opciones:

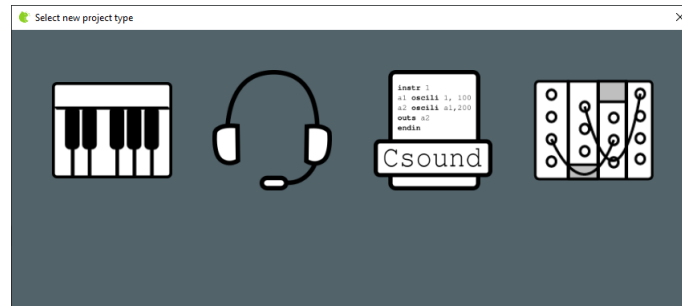


Figura 5.4: Sintetizador, Efecto, Archivo Csound y VCV Rack

Se trata de cuatro plantillas que nos aporta Cabbage para facilitarnos el desarrollo de nuevos instrumentos, hablemos de cada una de estas opciones:

- **Sintetizador:** Aporta el código fundamental de un teclado funcional sin efectos, del cual podemos partir como base para crear nuestros sintetizadores y añadir la serie de modificadores que deseemos.
- **Efecto:** Aporta el código de un efecto básico de ganancia. En base a este código podemos crear el efecto que deseemos para poder modificar a gusto las ondas de sonido generadas por nuestros instrumentos.
- **Archivo Csound:** Genera un archivo .csd completamente vacío, es la opción que escogeríamos si no tenemos predilección por las demás o si nuestro objetivo es crear un software no totalmente convencional a lo que suele verse en Csound.
- **VCV Rack:** Esta es la plantilla más novedosa hasta la fecha en Cabbage. Nos da facilidades para exportar nuestro código como módulos **VCV Rack** y al usarla genera el código base de un efecto de ganancia modular listo para ser exportado y usado en softwares de estación de trabajo digital (EAD) o (DAW) por sus siglas en inglés.

5.3– La etiqueta <Cabbage>

A diferencia del resto de etiquetas, la etiqueta <Cabbage> es exclusiva al IDE y proporciona funcionalidades para el diseño de la interfaz de usuario. Veamos algunos de sus usos:

5.3.1. Los Widgets

Llamaremos a los diferentes elementos de interfaz gráfica que aporta Cabbage, widgets. Podemos dividirlos en dos tipos: interactivos (botones, sliders, barras de selección, etc...) y no interactivos (imágenes, indicadores, etc...).

Empecemos con un ejemplo de uso de un slider para comprender la sintaxis:

```
1 <Cabbage>
2   rslider bounds (10, 10, 100, 100), range (0, 1, .5)
3 </Cabbage>
```

Código 5.1: Ejemplo básico de un widget

En nuestra figura vemos que para hacer uso de un widget empezamos por escribir su nombre identificativo de tipo, en este caso **rslider**. Mástarde podemos definir una serie de identificadores para personalizar nuestro widget. Para especificar la posición de nuestro widget y su tamaño usaremos **bounds(x, y, width, height)**. En el caso de nuestro ejemplo estamos posicionando nuestro slider en las coodernadas XY (10,10) y le estamos dando un tamaño de 100*100 píxeles.

Podemos usar también el identificador **range(min, max, value, skew, incr)**. Sus valores min y max marcan el mínimo y máximo valor del slider en cuestión, el resto de parámetros son opcionales. **value** indica el valor inicial del slider. **skew** puede usarse para determinar la salida de datos del slider de forma no lineal, su valor predeterminado es 1 pero al darle un valor por ejemplo de 0.5 conseguiríamos una salida de datos exponencial. **incr** determina el tamaño de los pasos incrementales que da el slider a usarlo, por ejemplo con un valor 0.4, de un valor cualquiera del slider a sus adyacentes habría necesariamente una distacia en valor a 0.4.

En nuestro ejemplo hemos creado un slider cuyo rango de valores va del 0 al 1 y cuyo valor inicial es 0.5.

5.4– Exportando nuestros instrumentos

Una vez hemos terminado de programar el código de un instrumento, necesitamos alguna manera de hacer que ese código sea útil en el mundo real. Para ello Cabbage ofrece una serie de opciones de exportación del instrumento para que podamos usarlos donde queramos (ya sea sobre un software de terceros o de forma unitaria) y saquemos provecho de ellos.

Estas son las opciones de exportación de Cabbage:



Figura 5.5: Las opciones de exportación del IDE

En primer lugar averigüemos qué es un **VST**:

Un plugin **VST (Virtual Studio Technology)** es una interfaz, en este caso digital, capaz de simular un instrumento o aportar un módulo entrada/salida para añadir efectos de sonido. Para usar un **VST** necesitamos un software compatible con este formato que sirva de base y desde el que ejecutemos nuestro **VST**. También es interesante destacar que **VST3** es el formato más moderno de **VST** con un código fuente más robusto y de fiar. El cual es también una de las opciones de exportación de Cabbage.

Será nuestro estándar de exportación, aunque Cabbage ofrece otras opciones como:

- **VCV RackModule**: Siendo parecido al formato VST, es el tipo de módulo del que hablábamos en la sección de plantillas de creación de archivos en Cabbage. Es un formato de código abierto con una amplia comunidad y una documentación robusta en su web <https://vcvrack.com/Fundamental>
- **Standalone application**: Para generar un archivo ejecutable .exe que podremos usar en cualquier momento siempre y cuando tengamos Cabbage instalado en el equipo. Es interesante si por ejemplo codificamos un instrumento que pueda usarse como tal sin necesidad de otros softwares como un teclado digital.
- **FMOD Sound Plugin**: El formato usados por FMOD, <https://www.fmod.com/> y que está dedicado a la composición de sonido para juegos. Usando este formato, podremos generar plugins directamente compatibles con FMOD Studio.

En cualquier caso, Cabbage generará los archivos convenientes de exportación incluidos archivos .csd y .dll en el caso de sistemas windows. Será importante que mantengamos todos los archivos generados para un instrumento en el mismo directorio y así evitemos conflictos en la ejecución.

Fundamentos del Sonido

6.1– Introducción

Este capítulo tiene como función dar una breve introducción a la teoría física del sonido, en concreto a los conceptos fundamentalmente necesarios para entender los ejemplos expuestos en esta guía de Csound. Se presenta por ello como capítulo anexo o capítulo extra de modo que sirva de referencia rápida en otras partes del documento y de manera que un lector con manejo en estos términos pueda saltar su contenido cómodamente.

6.2– El Audio Digital

Para definir el audio digital debemos empezar por saber qué es el sonido:

6.2.1. ¿Qué es el sonido y cómo se transmite?

Sonido: “Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire.”¹

A ese movimiento vibratorio que se transmite y viaja por el medio podemos llamarlo “Onda de Sonido”. Y la forma más simple de describir un movimiento vibratorio, es decir, la onda más simple de todas; es mediante la forma senoidal:

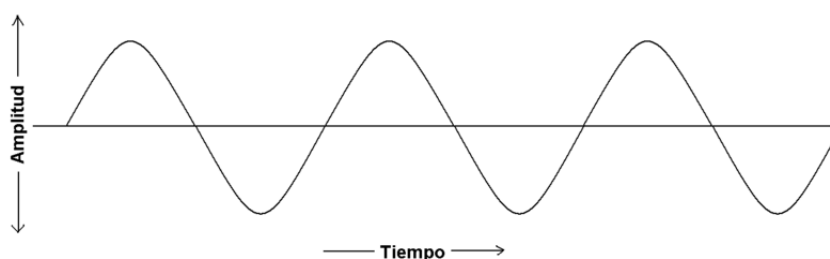


Figura 6.1: Onda Senoidal

¹REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.3 en línea].
¡<https://dle.rae.es>! [05 de julio de 2020].

Como sabemos, los medios transmisores están formados por moléculas que ocupan un determinado espacio. Podemos por lo tanto imaginar a una molécula que describe el movimiento vibratorio descrito anteriormente. Podríamos también decir que cuando la molécula sobrepasa el punto inicial o punto 0 que definimos en la gráfica, la molécula está empujando al resto de moléculas que encuentra en su camino. De forma análoga, cuando la posición de la molécula tiene un valor menor al inicial decimos que la molécula está tirando del resto de moléculas de su entorno.

De esta manera se produce la transmisión del sonido.

6.2.2. La onda de sonido y sus características

Quedaba definida la onda de sonido en el apartado anterior. Si a continuación le añadimos la información de esa vibración de la que hablábamos es constante se producirá lo que llamamos “Onda Periódica”.

Toda onda periódica posee 4 características:

- **Periodo:** Es la cantidad de tiempo que tarda la forma de la onda en repetirse, lo llamaremos T y lo expresaremos en segundos.
- **Amplitud:** Distancia máxima de los puntos de la onda respecto a la posición de eje Y (eje “Tiempo” en la figura). Podemos definirla también como la fuerza con la que las moléculas del medio consiguen empujar o tirar del resto de moléculas de su entorno.

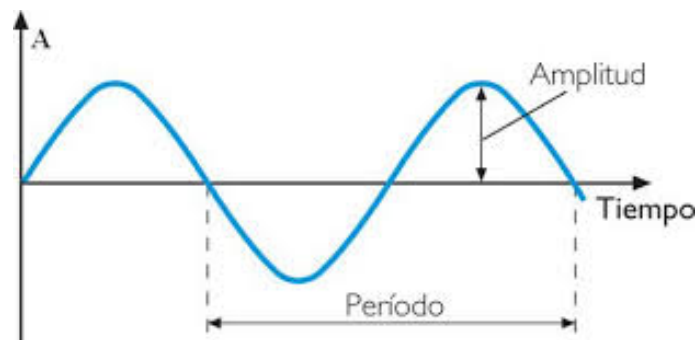


Figura 6.2: Periodo y Amplitud

- **Frecuencia:** La frecuencia de una onda expresa la cantidad numérica de veces que repite su movimiento durante un tiempo determinado. Si la definimos respecto al periodo decimos que es la cantidad numérica de periodos (o repeticiones de la forma de la onda) que ocurren durante un segundo. Se mide en Hercios o Hz, la representaremos con f y podremos calcularla fácilmente puesto que es la inversa del periodo:
 - Frecuencia = $1/\text{Periodo}$
 - Periodo = $1/\text{Frecuencia}$
- **Longitud de Onda:** Se trata de la distancia que va del punto inicial al punto final del recorrido de la onda marcada por un periodo. Se mide en metros.
- **Fase:** Punto de partida de la onda. Podemos observar al representar la onda en un gráfico y fijarnos en que el valor inicial del eje Y que no tiene que ser necesariamente 0.

6.2.3. El Sampleo y Sample Rate

Para representar de manera digital una onda de sonido acústica necesitamos convertir sus valores analógicos a digitales. Esta onda tendrá un valor distinto por cada instante de tiempo y para conseguir recoger de alguna manera estos datos en un computador necesitaremos el concepto de sampleo.

El sampleo consiste en recoger un número determinado de valores en formato digital de una onda sonora por cada segundo de duración.

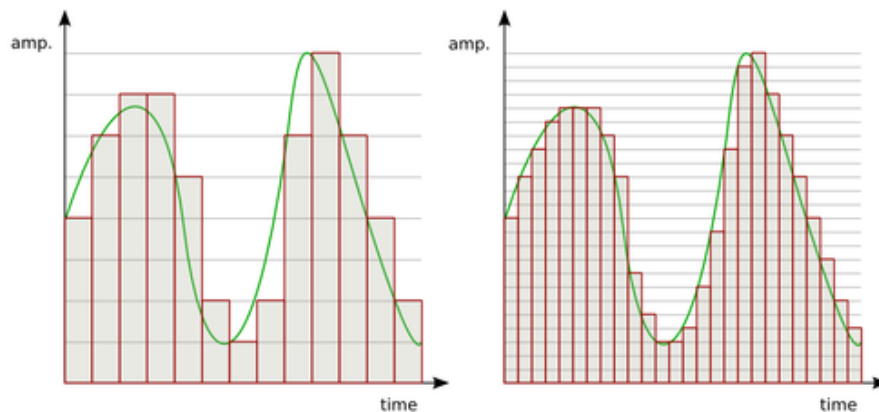


Figura 6.3: Ejemplo de sampleo de una onda

Aquí entra el concepto de “sample rate”, que determina la frecuencia de muestreo en la recogida de datos de la onda. En la figura anterior podemos observar una misma onda de sonido a la que se le realiza un sampleo primero con sample rate menor (izquierda), y con un sample rate mayor (derecha).

Por último debe destacarse que un sample rate mayor no implica necesariamente una conversión digital más eficiente para nosotros a un nivel pragmático puesto que el nivel máximo de frecuencia de datos sonoros que puede captar en oído humano ronda los 20Khz.

Contamos además con que debe respetarse el **Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon**:

“Para representar una onda de manera digital que contenga frecuencias de hasta X Hz, es necesario usar un sample rate de al menos $2X$ muestras por segundo.”

De otra manera, los valores digitales no representarían la onda de manera correcta dando lugar al aliasing y al muestreo incorrecto.

Se muestra a continuación una figura de ejemplo de sampleo en la que se toma un sample rate de 40000Hz. De la primera onda, que es de 10KHz observamos que recogemos los datos suficiente cada segundo como para captar toda la información contenida en ella. De hecho podemos observar también que con un sample rate de 20KHz en lugar de 40KHz también captaríamos toda la información necesaria como para recoger la onda al completo en su formato digital cumpliéndose así el Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon.

Sin embargo la onda del segundo gráfico tiene una frecuencia de 30KHz y esto implica que con un sample rate de 40KHz como el mostrado, daría resultado una conversión de onda errónea. Dando incluso para este ejemplo una muestra de onda digital idéntica a la del primer gráfico. Sería necesario un sample rate de al menos 60KHz para recoger eficientemente los datos y conseguir una conversión digital satisfactoria de la onda.

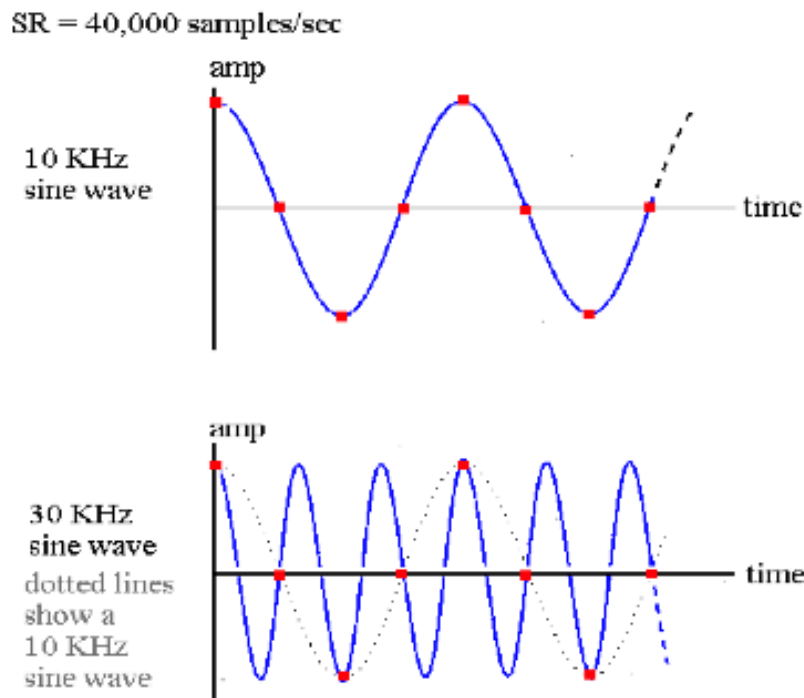


Figura 6.4: Un mismo sample rate para ondas distintas

6.3– Conceptos interesantes

Hablemos a continuación de algunos conceptos no necesariamente intrínsecos al sonido digital pero interesantes para entender mejor los conceptos necesarios para el uso adecuado de Csound.

6.3.1. El decibelio

El decibelio o ‘db’ es una unidad de medida que representa la intensidad de un sonido. Es la décima parte de un belio y siempre que hablamos de decibelio lo hacemos respecto a un valor de referencia preestablecido de intensidad, normalmente el marcado por el límite por debajo del oído humano en su capacidad para oír: $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ que se da en los 1000Hz.

La fórmula para calcular los decibelios es: $10 * \log_{10} * \frac{I}{I_0}$, es por tanto una fórmula logarítmica que depende de su valor de referencia I_0 . Para una relación $\frac{I}{I_0}$ de 10 tenemos 10db, para una relación de 100 tendremos 20db, para 1000 30db, etc...

Un dato útil a tener en cuenta es que al doblar la amplitud de una onda de sonido obtenemos una diferencia de +6db. De manera análoga si partimos por la mitad el valor de la amplitud de la onda obtenemos un cambio de -6db.

6.3.2. El ADSR

ADSR son las siglas de **A**ttack, **D**ecay, **S**ustain y **R**elease en una onda y conforman la opción más común de envelope o envolvente sonora, es decir, proporcionan parámetros para poder controlar una onda de sonido.

Veamos cada uno de estos parámetros para entenderlos en conjunto:

- **Attack:** El Attack o Ataque sería lo ocurrido antes de que la onda decaiga y se estabilice. Por ejemplo, un golpe de platillo produce un sonido con mucho ataque, el sonido de una nota tocada en una flauta dulce tendría normalmente poco ataque.
- **Decay:** El decay o decaimiento es lo sucedido entre el ataque en su máximo punto y la fase estable de la onda. Al rasgar las cuerdas de una guitarra con una púa se produce un sonido con bastante decay.
- **Sustain:** El sustain o sostenibilidad es lo referido a la parte estable de la onda, su duración e intensidad máxima. Un golpe de caja tiene poco sustain, una nota tocada al aire en la cuerda de un bajo eléctrico tiene mucho sustain.
- **Release:** El release es la parte de la onda comprendida entre la fase estable o de sustain y la llegada al valor 0 de intensidad. Los instrumentos de cuerda tienen por lo general una fase de release notable.

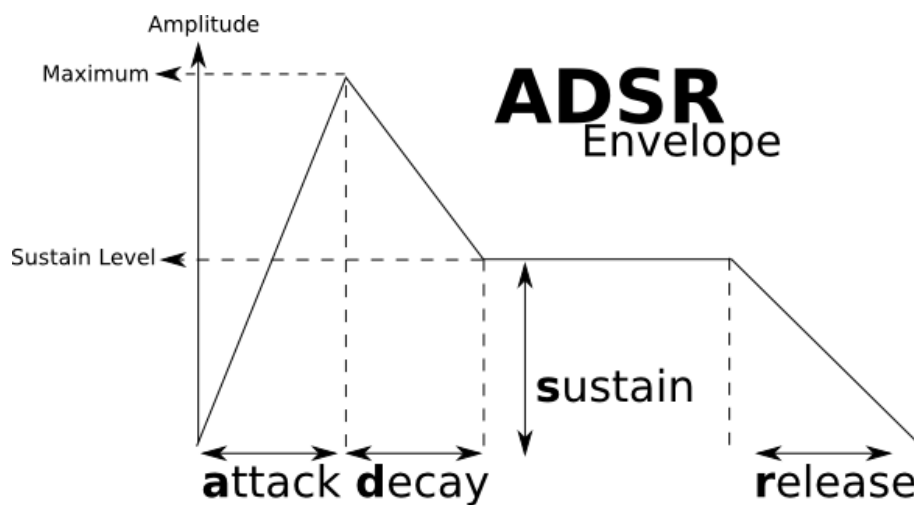


Figura 6.5: El envolvente ADSR de una onda

Es común en el sonido digital poder modificar estos parámetros a placer en instrumentos como los sintetizadores o en prácticamente cualquier instrumento con componentes eléctricos.

6.3.3. El Cutoff y la resonancia

Veamos este par de conceptos útiles para completar y mejorar nuestro sonido:

- **Cutoff:** Se trata de un filtro de frecuencias. Normalmente se usa para bloquear determinados rangos de frecuencias altas, siendo esto de tipo LP (LOW PASS) aunque en instrumentos modernos pueden encontrar Cutoffs de tipo HP (HIGH PASS) que bloquearían en este caso frecuencias más bajas de lo deseado.
- **Resonancia:** Es el efecto que ocurre por ejemplo cuando la mesa que sujeta unos altavoces en marcha empieza a vibrar mientras algunos sonidos son producidos, querrá decir que el sonido que sale de esos altavoces producen una frecuencia coincidente con la frecuencia de resonancia de la tabla de la mesa y el sonido por tanto se ve amplificado. En el audio digital puede encontrarse la resonancia como un efecto más a añadir a nuestro arsenal de producción musical.

6.3.4. La ganancia o gain y sus diferencias con el volumen

Podríamos definir el volumen en el audio digital así: “Cómo de ruidoso es algo **después** de salir por el amplificador de nuestro equipo de sonido.”

La ganancia sin embargo sería así: “Cómo de ruidoso es algo **antes** de pasar por nuestros efectos y preamplificadores.”

La diferencia fundamental, además del tecnicismo de cuándo ocurre cada cosa, es que una variación en la ganancia produce una variación en el tono del sonido mientras que una variación en el volumen no produce cambios de tono.

CAPÍTULO 7

Bibliografía Comentada

inttt

7.1– refs