

¿Qué hay de nuevo en la síntesis sonora por ordenador?

Juan José Burred

Investigador y desarrollador en tecnología musical, París

Ciclo Tech&Play, Escuela de Música Creativa, Madrid

28 de Mayo, 2019

Síntesis sonora

- Creación de sonidos por medios electromecánicos / electrónicos
- Esta presentación: síntesis musical (no voz hablada)
- Distinción habitual entre:
 - Sintetizadores (creación del sonido desde cero)
 - Samplers (manipulación de fragmentos grabados)
- Actualmente la distinción no es tan clara
 - Muchos sintetizadores se basan en la manipulación de sonidos de entrada, a veces hasta hacerlos irreconocibles
 - Sistemas de análisis/resíntesis
- **Sintetizador**: se tienen que poder crear o modificar los sonidos

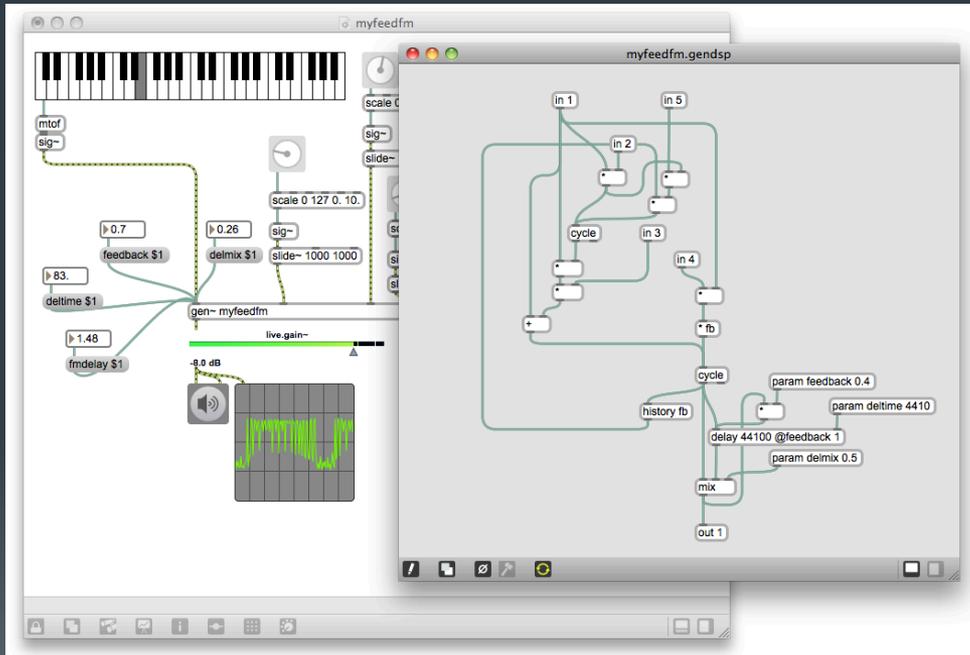
Síntesis hardware y software

- Síntesis hardware (desde 1906)
- Analógica o digital



Síntesis hardware y software

- Síntesis software = por ordenador (desde 1957)
- Siempre digital



(Casi) infinitas posibilidades

- Por primera vez en la historia de la música, la síntesis por software permite crear, en teoría, cualquier sonido posible.
- Sonidos que no son el resultado de la vibración de un sistema físico.
- Todos los métodos tradicionales de síntesis han sido implementados en software
 - Síntesis aditiva
 - Síntesis sustractiva
 - Síntesis FM
 - Síntesis por modelos físicos
 - Síntesis granular...
- Permite explorar nuevos métodos de síntesis !

IBM 704 (1957)



Newman Guttman, "The Silver Scale" (1957). Realizada por Max Mathews

Sistemas de síntesis por software

Sistemas abiertos

- Acceso total a los recursos del ordenador
- Permiten crear nuevos métodos de síntesis

Sistemas semi-abiertos

- Permiten crear instrumentos combinando módulos
- Comparable a los sintetizadores hardware modulares

Sistemas cerrados

- Permiten crear sonidos pero no instrumentos ni métodos de síntesis

I+D



Sistemas abiertos

- MUSIC-N (Max Mathews, Bell Labs, 1957)

PAGE 4 12:34:15 05/11/64 J80 4A13

```

1093      BELLs INSTR      ***  ORCHESTRA      ***c3 c2 c5      c7 c2 c9 c2
          ØSCIL C3,C2,P5      P5
          ØSCIL C7,C2,P11     P11
          ØSCIL C9,C2,P12     P12
          ØSCIL U2,U3,P7
          ADD2  C5,U4
          ØSCIL U1,U5,P9
          ØUT   U6
          END
          BELLs COUNT 2
          INSTRUMENT 1
26602  0 00000 0 26653  .06  PZE ..012+1
26603  0 00000 0 26703  .06  PZE ..014+1
26604  0 00000 0 26733  .06  PZE ..016+1
26605  0 00000 0 26763  .06  PZE ..018+1
26606  0 00000 0 27011  .06  PZE ..024+1
26607  0 00000 0 27026  .06  PZE ..028+1
26610  0 00000 0 27054  .07  PZE ..035+1
          .07
          INSTRUMENT 2
26611  0 00000 0 27071  .07  PZE ..043+1
26612  0 00000 0 27121  .07  PZE ..045+1
26613  0 00000 0 27151  .07  PZE ..047+1
26614  0 00000 0 27201  .07  PZE ..049+1
26615  0 00000 0 27227  .07  PZE ..055+1
26616  0 00000 0 27244  .07  PZE ..059+1
26617  0 00000 0 27272  .08  PZE ..066+1
27441  FINE
    
```

Addresses of Outputs for Unit Generators (handwritten note with arrow pointing to the address column)

Design of Instrument "Bells" (handwritten note with diagram)

LITERALS

27442 IS THE FIRST LOCATION NOT USED BY THIS PROGRAM

NO ERROR IN ABOVE ASSEMBLY

Sistemas abiertos

- Csound (Barry Vercoe, MIT, 1985)

```
<CsoundSynthesizer>

<CsOptions>
  csound -W -d -o tone.wav
</CsOptions>

<CsInstruments>
  sr      = 96000          ; Sample rate.
  kr      = 9600          ; Control signal rate.
  ksmps   = 10            ; Samples per control signal.
  nchnls  = 1             ; Number of output channels.

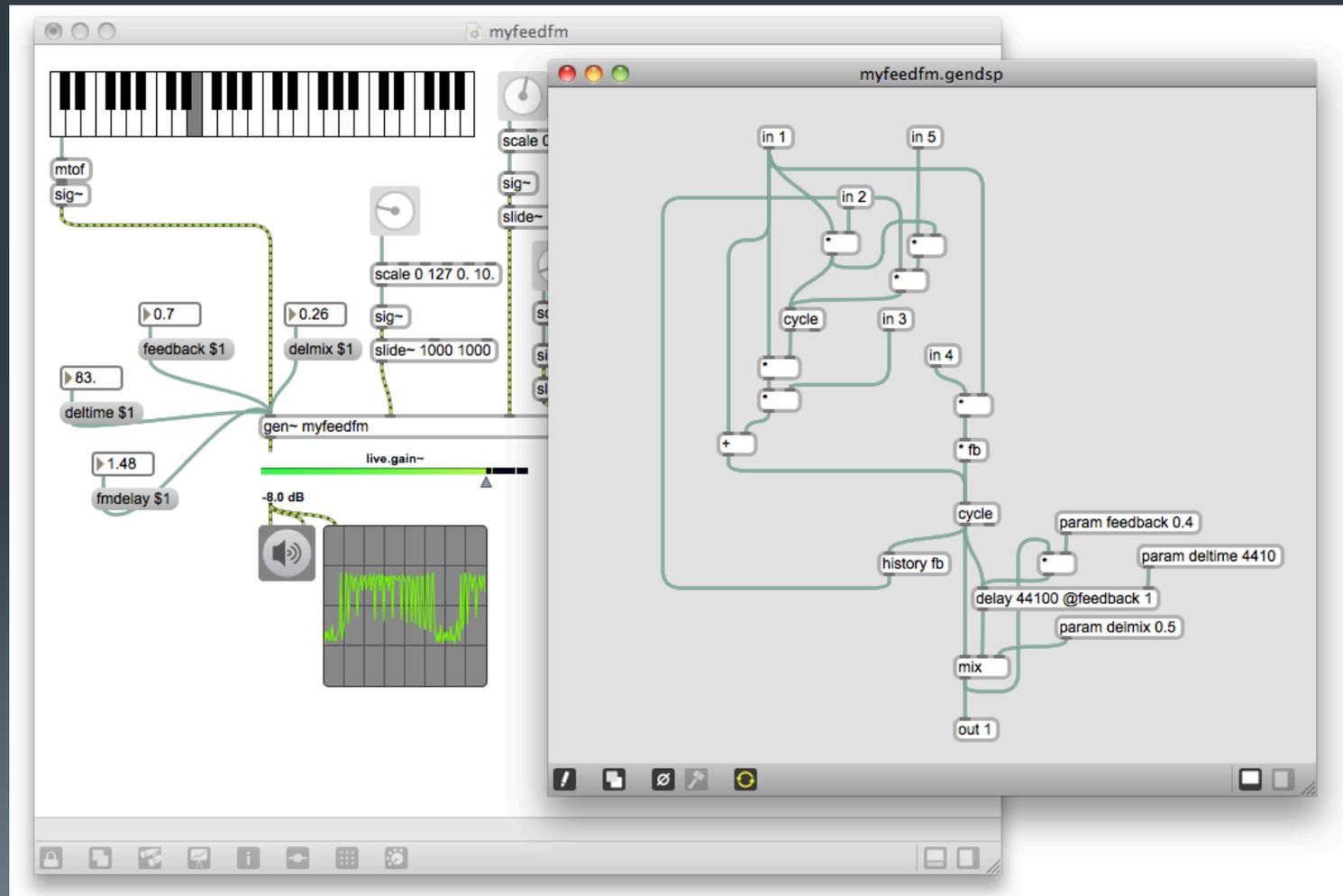
  instr 1
  a1      oscil p4, p5, 1 ; Oscillator: p4 and p5 are the arguments from the score, 1 is the table number.
  out a1  ; Output.
  endin
</CsInstruments>

<CsScore>
  f1 0 8192 10 1          ; Table containing a sine wave. |
  i1 0 1 20000 1000      ; Play one second of one kHz at amplitude 20000.
  e
</CsScore>

</CsoundSynthesizer>
```

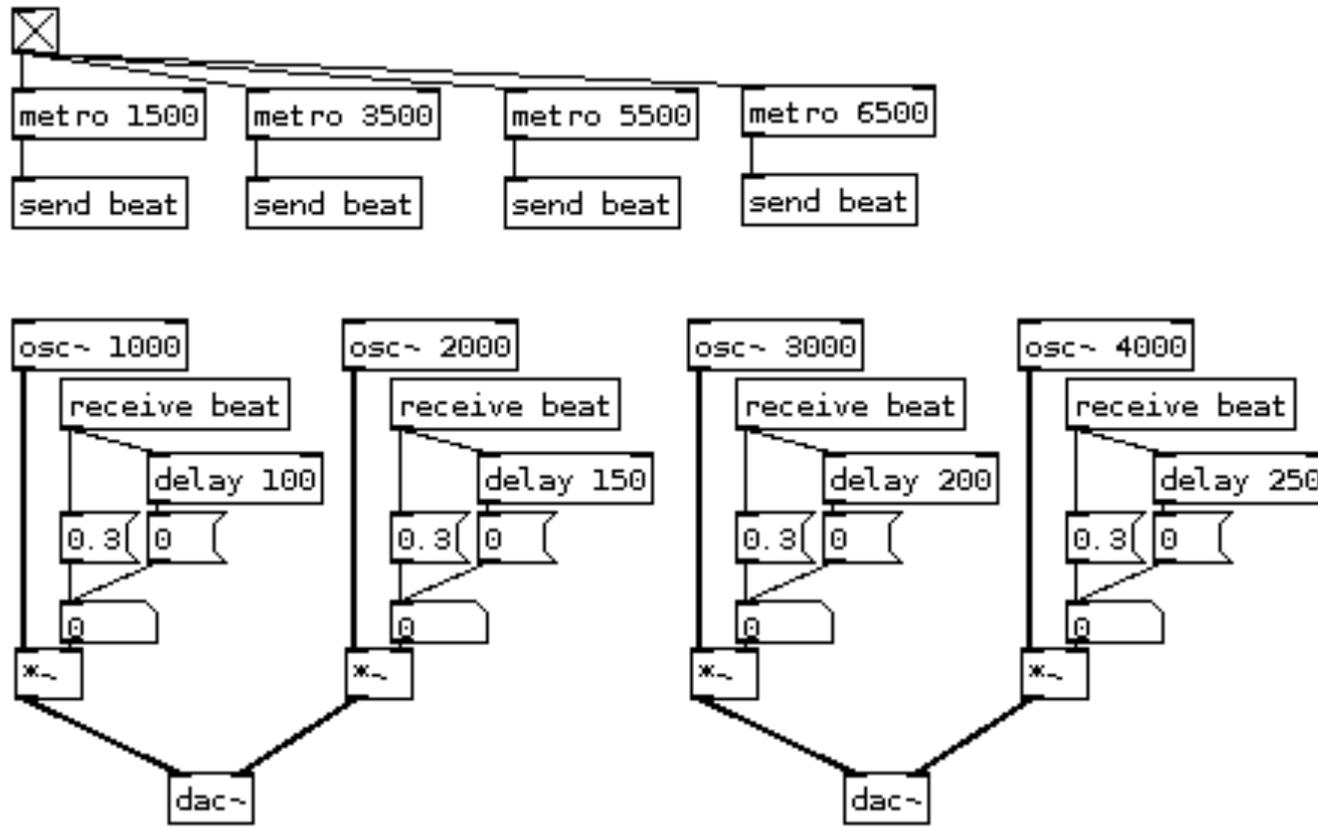
Sistemas abiertos

- Max (Miller Puckette, IRCAM, 1988)



Sistemas abiertos

- Pure Data (Miller Puckette, 1996)



Sistemas abiertos

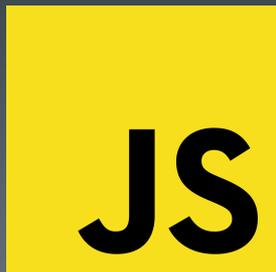
- SuperCollider (James McCartney, 1996)

The screenshot displays the SuperCollider environment with several windows open:

- SynthDef:** Shows the definition of a synth arc and a "Group layout:" diagram. The diagram is a tree structure starting with a "top 0" node, leading to a "mixer 100", which branches into three "track" nodes (200, 201, 200). Each track node further branches into "inst" nodes (400, 500, 401, 501, 402, 502).
- SCinSC-c.rtf:** Contains Pure Data code for mass production of synths and a process to use them. The code includes a `40.do` loop for creating synth instances and a `Task` for sending bundles to the server.
- SuperCollider Help:** Provides documentation on SynthDef and SuperCollider Help, including a table of contents for Essential Topics and Language.
- Terminal:** Shows system status for localhost and internal server, including CPU usage, UGens count, and Groups.
- Ugen Definitions:** Several windows show the internal structure of Ugen objects like `MultiOutUgen`, `IRand`, `ExpRand`, and `TEpRand`.

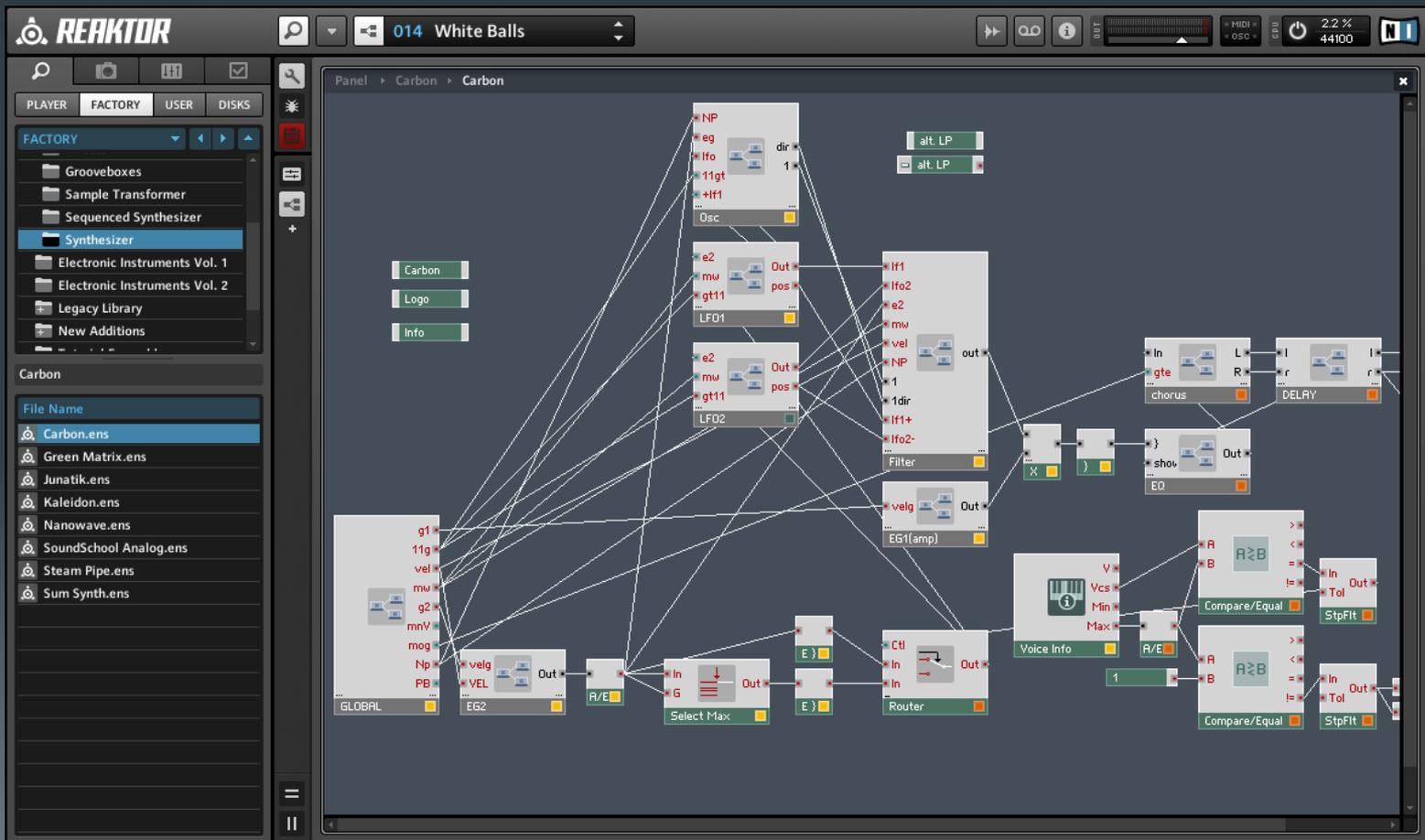
Sistemas abiertos

- Lenguajes de propósito general + librerías



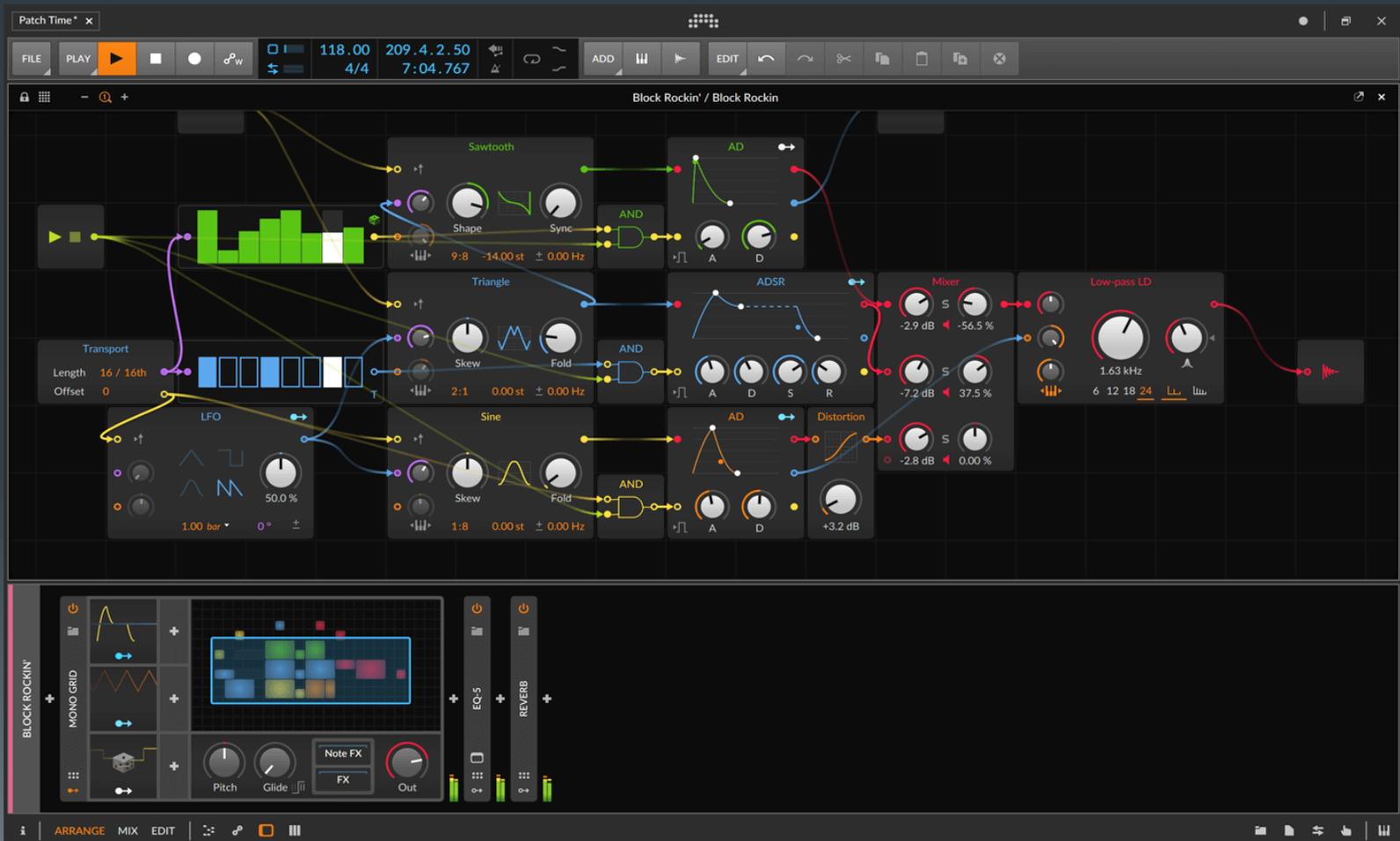
Sistemas semi-abiertos

- Reaktor (Native Instruments, 1996)



Sistemas semi-abiertos

- The Grid (Bitwig Studio, 2019)



Sistemas cerrados

- Plug-ins e instrumentos virtuales



Sistemas cerrados

- Reason (Propellerhead, 2001)



Estado del arte "visible"

- Emulación de métodos clásicos de síntesis en instrumentos virtuales



Massive (Native Instruments) – síntesis sustractiva



Quanta (AudioDamage) – síntesis granular



Tension (Ableton) – síntesis por modelos físicos

Estado del arte "visible"

- Emulación de modelos concretos de sintetizadores hardware



Mini V (Arturia) –
Minimoog - síntesis sustractiva



DX7 V (Arturia) –
Yamaha DX7 - síntesis FM

Estado del arte "visible"

- Ableton Live
 - Desde la versión 10, Live está completamente integrado con Max
 - La mayoría de métodos un poco "aventureros" están en formato MaxForLive



Estado del arte “experimental”

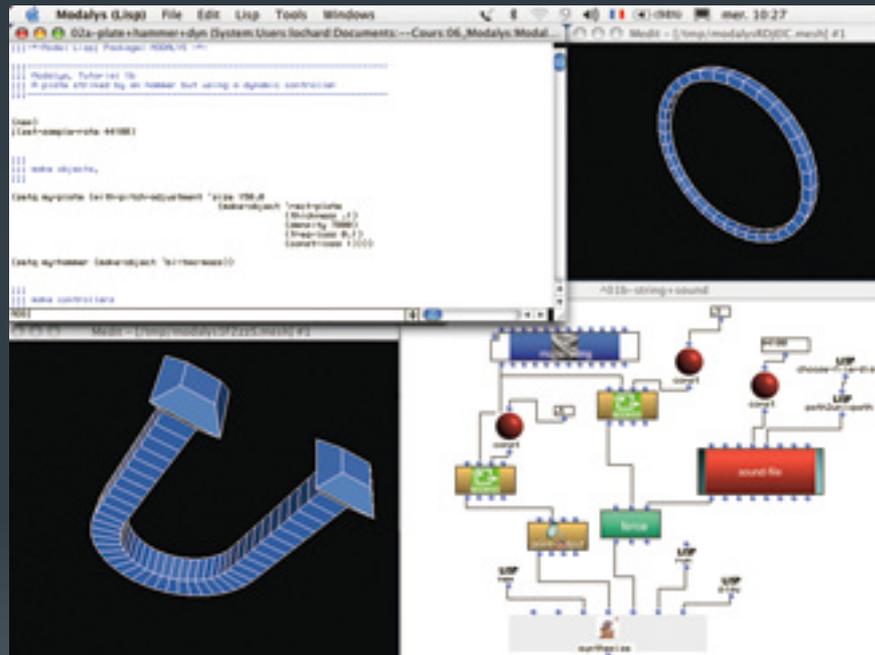
- Síntesis tiempo real controlada por el gesto / por la danza



Obra “Voir-Toucher” de Lorenzo Pagliei, 2013 / Proyecto Modular Objects (IRCAM)

Estado del arte “experimental”

- Modelado físico avanzado

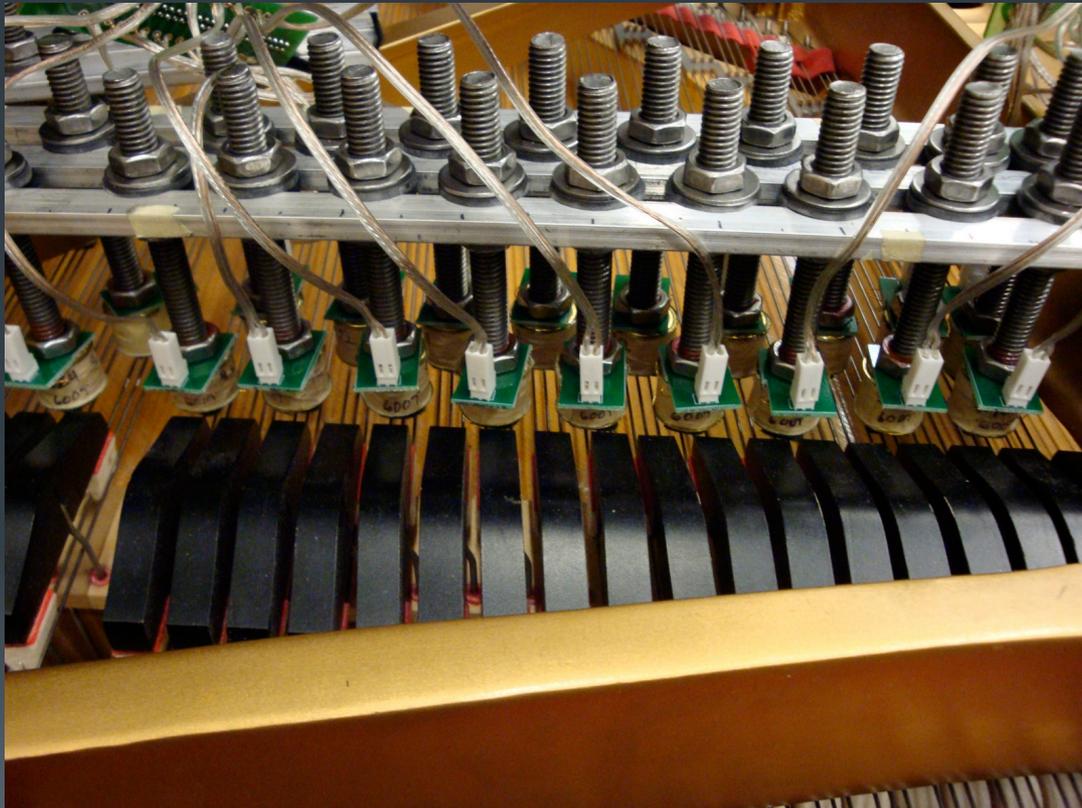


Sistema Modalys (IRCAM)



Estado del arte "experimental"

- Síntesis acústica (controlada por ordenador)



Magnetic Resonator Piano (Drexel University)



La revolución de los datos

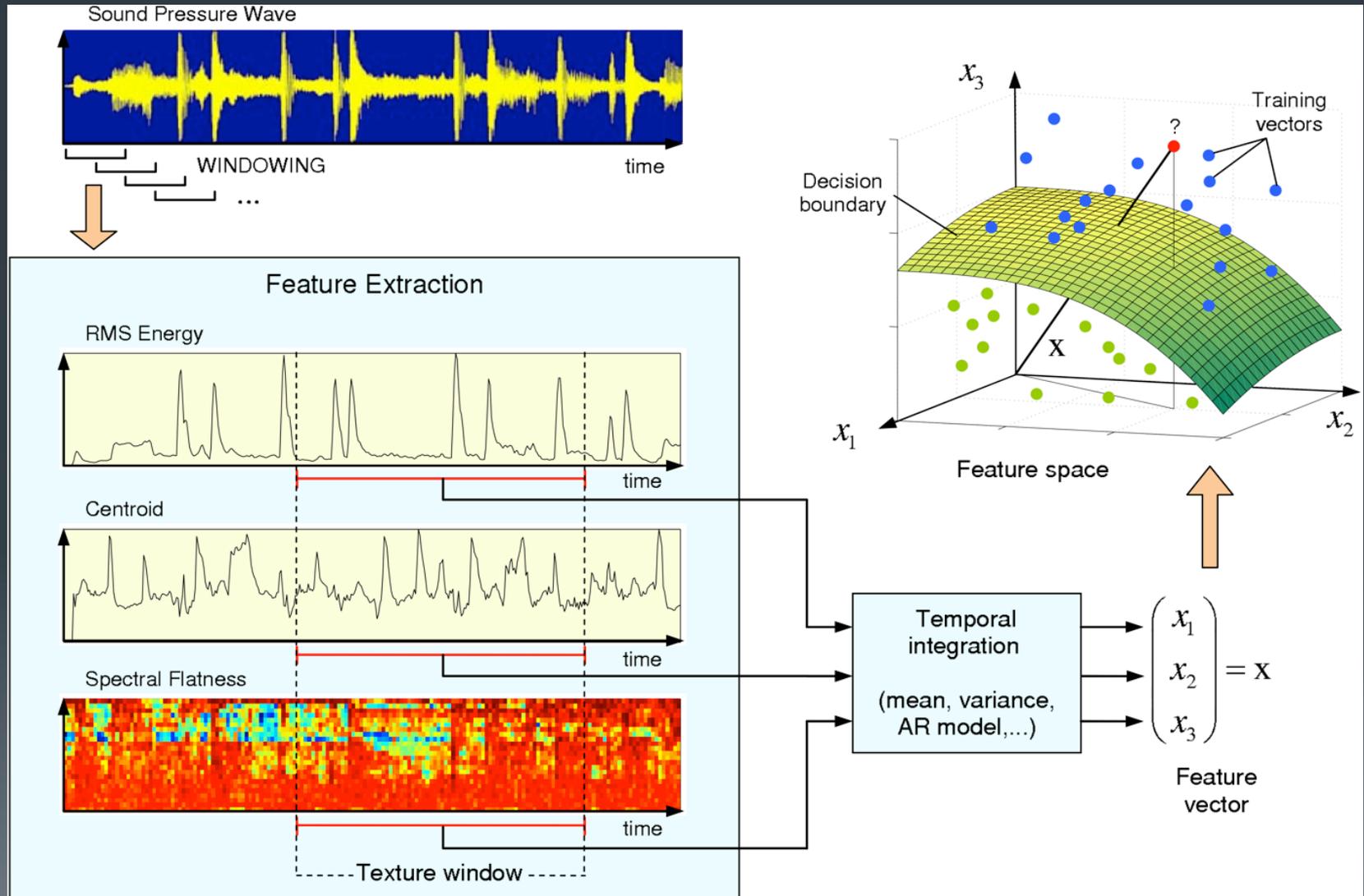


Datos y síntesis musical

- **Análisis de datos**
 - Extracción de características (feature extraction)
 - Reducción de dimensionalidad (dimensionality reduction)
 - Ejemplo: **CataRT**

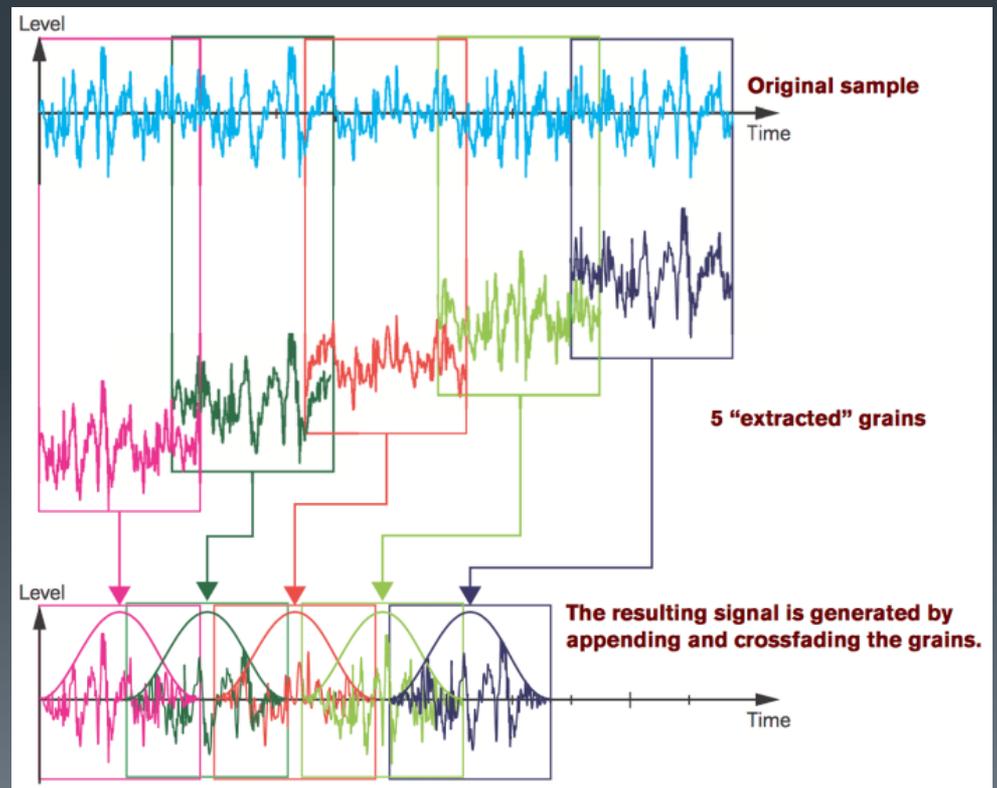
- **Aprendizaje máquina** (machine learning)
 - Redes neuronales / deep learning
 - Ejemplo: **NSynth**
 - Clustering / Factorización de matrices
 - Ejemplo: **Factorsynth**

Extracción de características sonoras



Sistema CataRT (IRCAM)

- "Corpus-based Concatenative Sound Synthesis"
- Combinación de síntesis granular y análisis de datos
- Síntesis granular clásica:
 - generación y recombinación de "átomos" sonoros



Horacio Vaggione, "Agon" (1998).

Sistema CataRT (IRCAM)

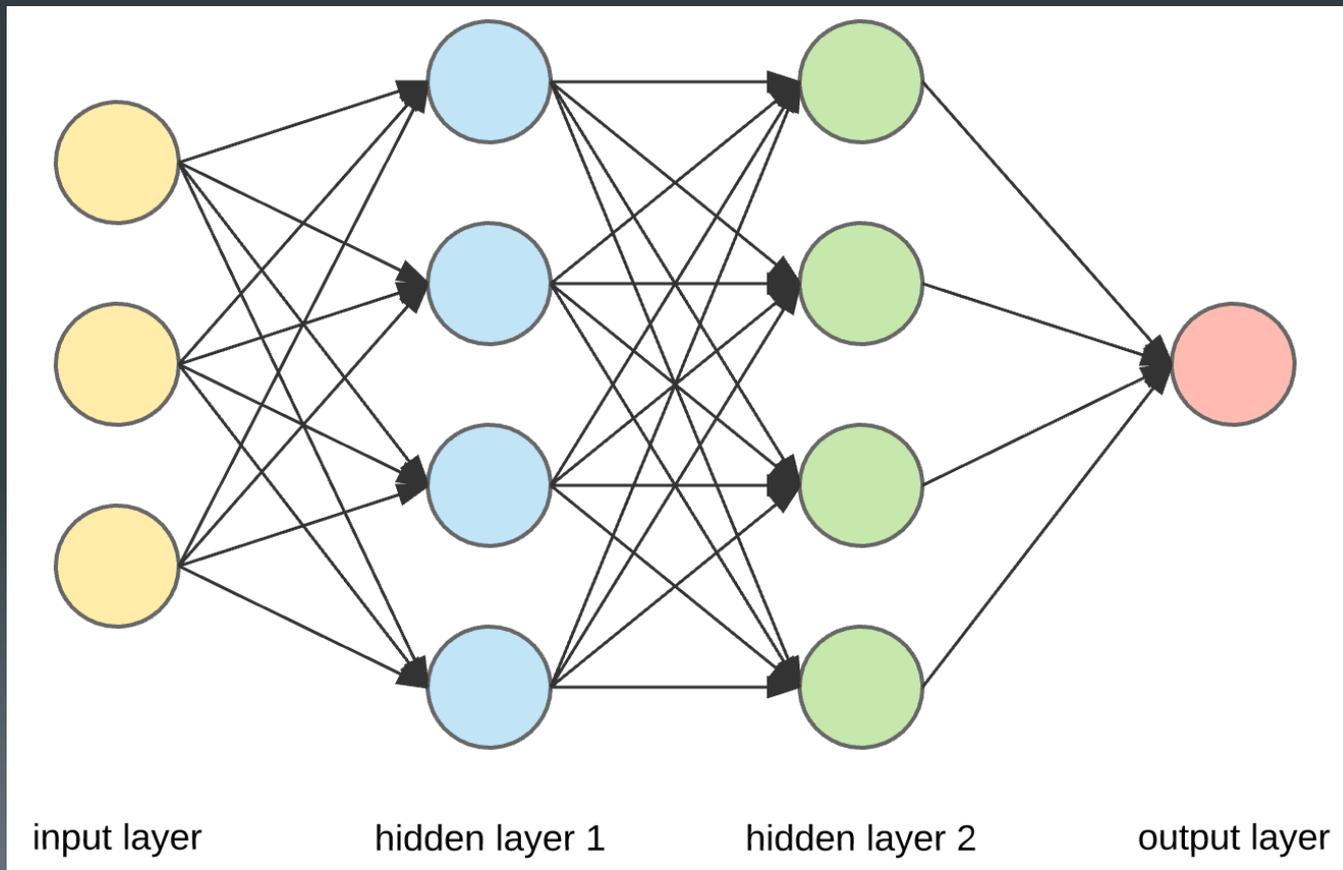
- En CataRT (basado en Max), los átomos sonoros son analizados y ordenados según sus características sonoras
- La síntesis se produce navegando por el “espacio de características”

The screenshot displays the CataRT software interface, titled "cataRT-0.9.9". The interface is divided into several sections:

- Top Left:** A menu bar with buttons for "Init", "Open", "Save", "Merge", "Unit Inspector", "About", and "Help".
- Left Panel:** Contains a "chop" segmentation control with "every" set to 242 ms and an "Import Audio" button. Below it, a status bar indicates "loaded 1925 units in 3 sound files of 7.7 min using 156.546875 MB RAM".
- Center-Left Panel:** The "cataRT" logo and "Real-Time Music Interaction Team Ircam—Centre Pompidou". Below this are "Trigger" and "Synthesis" controls, including "fence" mode, "beat rate", "rate rand", "xfade", "grain size", "size rand", "onset std", "transposition", "transp. rand", "gain", "gain rand", "reverse prob", "pan", and "pan rand". A "Presets" section includes "store", "recall", "interpolation", "time", "read", "write", "writeagain", "view all", and "current" buttons. At the bottom are "Audio Out" and "MIDI input" controls.
- Right Panel:** A vertical stack of controls for "X-Axis" (SpectralCentroid 18), "Y-Axis" (Periodicity 16), "Colour" (Loudness 15), "Labels" (SoundFile 3), and "Label-colour" (SoundSet 4). Below these are "Layout Presets" (Brilliance / Noisiness, Brilliance / Loudness, Note / Loudness, Note / Brilliance, Note / Noisiness, Time / Loudness, Time / Brilliance, Time / Note, Index / Loudness, Index / Brilliance, Index / Note), "Colour overlay" (Loudness, SoundFile, SoundSet), "Tiling" (off), and "Position" (freeze) controls.
- Main Area:** A large scatter plot showing a dense cloud of green and blue points representing sound atoms. A green oval highlights a specific cluster of points, with a red dot and a white crosshair inside it. The plot is titled "X-Axis" and "Y-Axis".
- Bottom:** A virtual piano keyboard with a "Keyboard" control panel above it, including "base key", "key range", and "to x-axis" buttons.

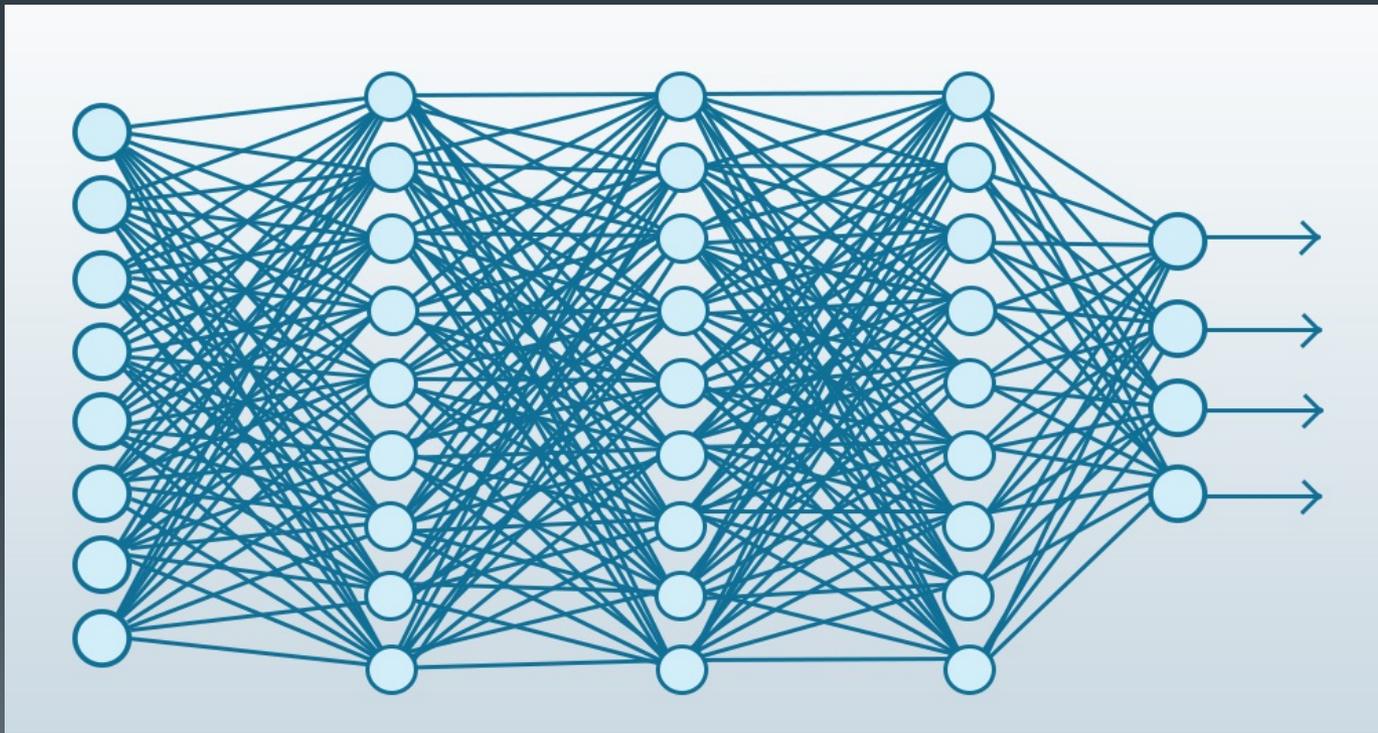
Redes neuronales

- Simulación (muy aproximada!) del funcionamiento de las neuronas
- Basadas en operaciones matemáticas muy simples!



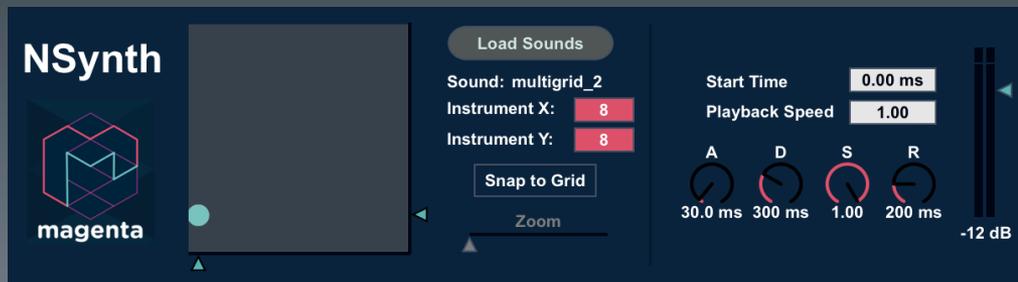
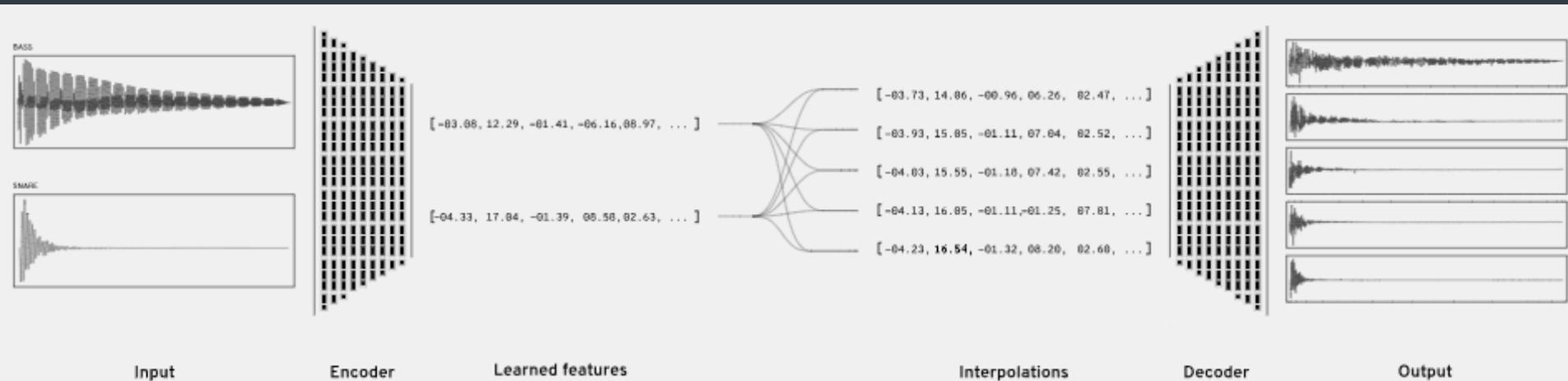
Aprendizaje profundo (deep learning)

- Sistemas de redes neuronales con muchas capas internas
- Desde 2014, estamos en un boom de aplicaciones de redes profundas, incluido en el audio



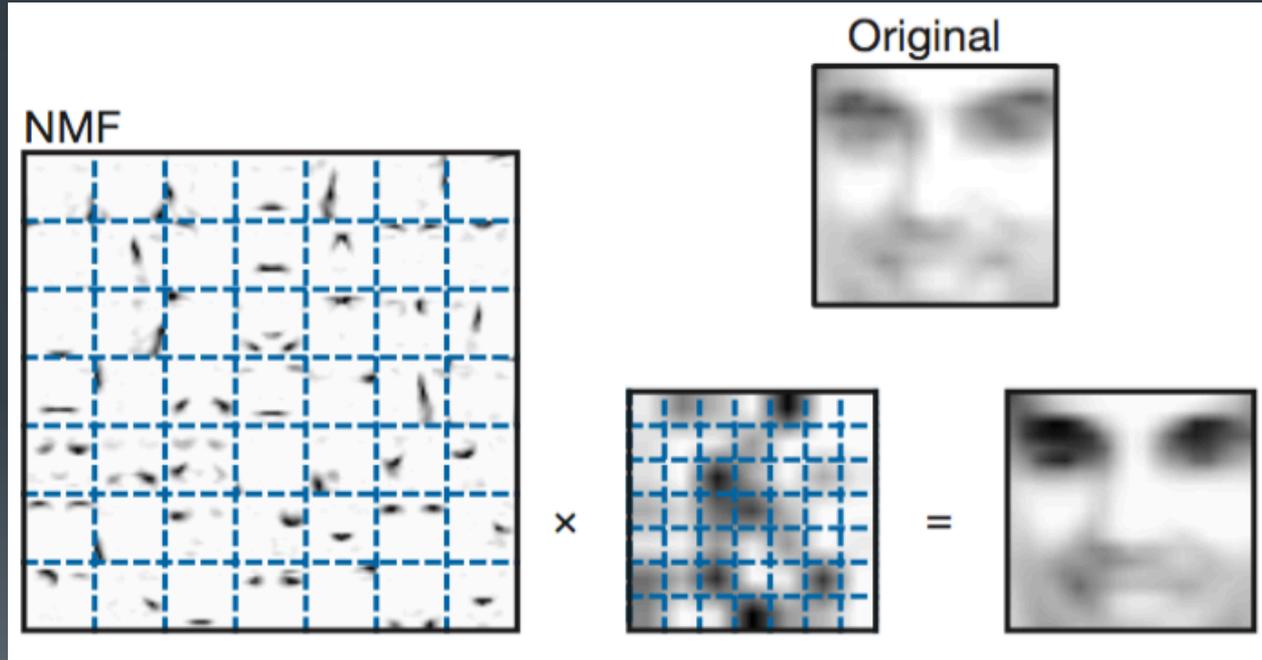
NSynth (Proyecto Magenta, Google)

- También basado en extracción de características, pero en vez de estar pre-diseñadas manualmente, son creadas automáticamente por una red neuronal
- El resultado es aplicado al morphing sonoro (hibridación)



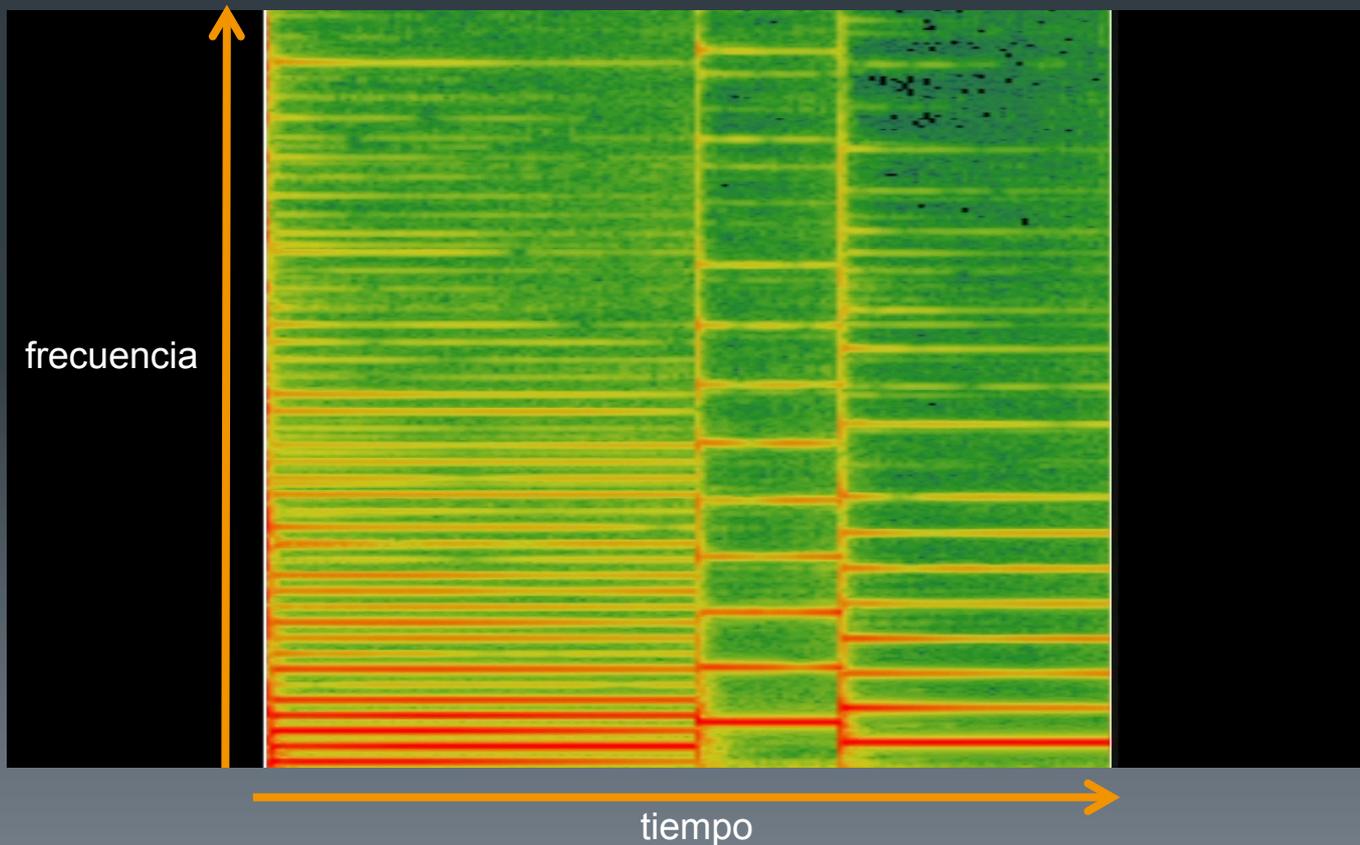
Factorización de matrices

- Descubrimiento de patrones a partir de datos, de forma "ciega"

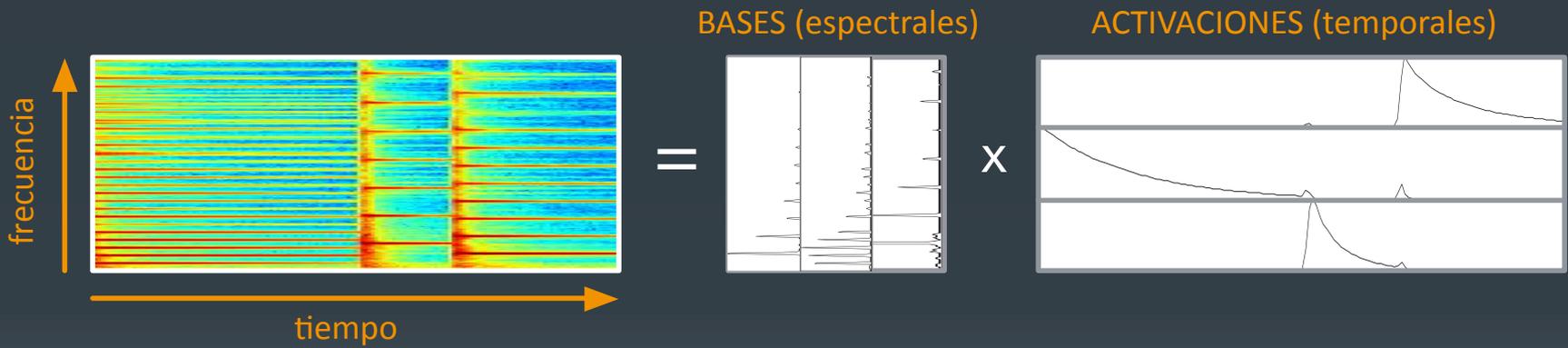


Factorsynth (J.J. Burred)

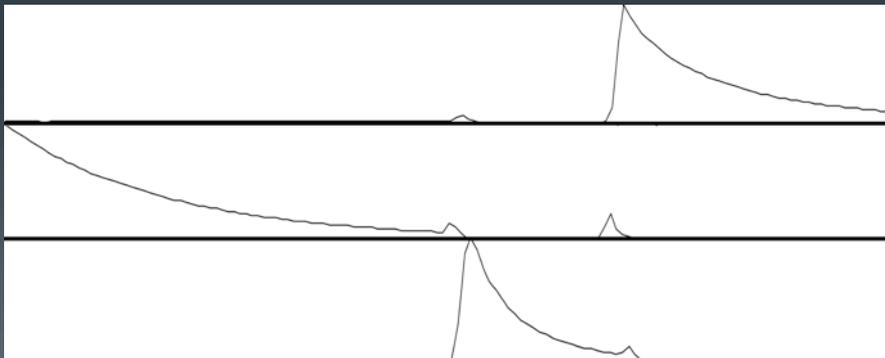
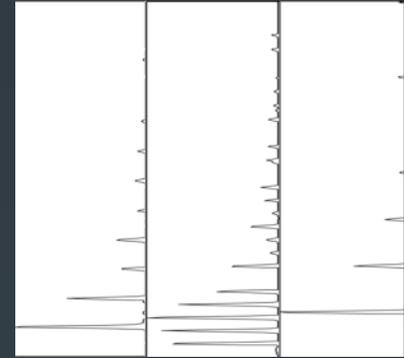
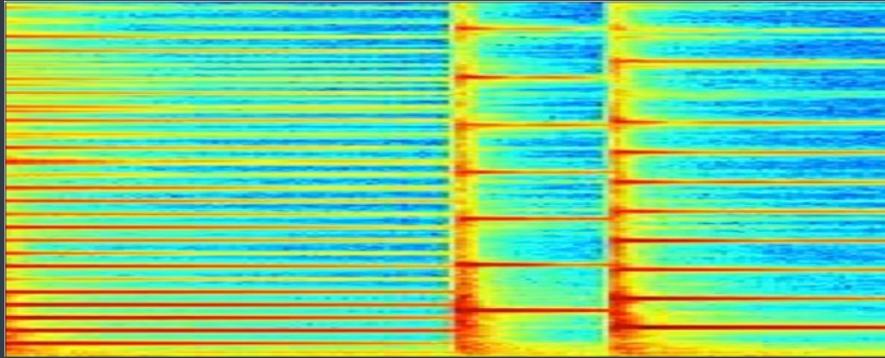
- Basado en un método de aprendizaje máquina llamado "Factorización de Matrices No-Negativas" (NMF)
- Extrae automáticamente patrones interesantes de un espectrograma
- Espectrograma = matriz de datos (tiempo x frecuencia)



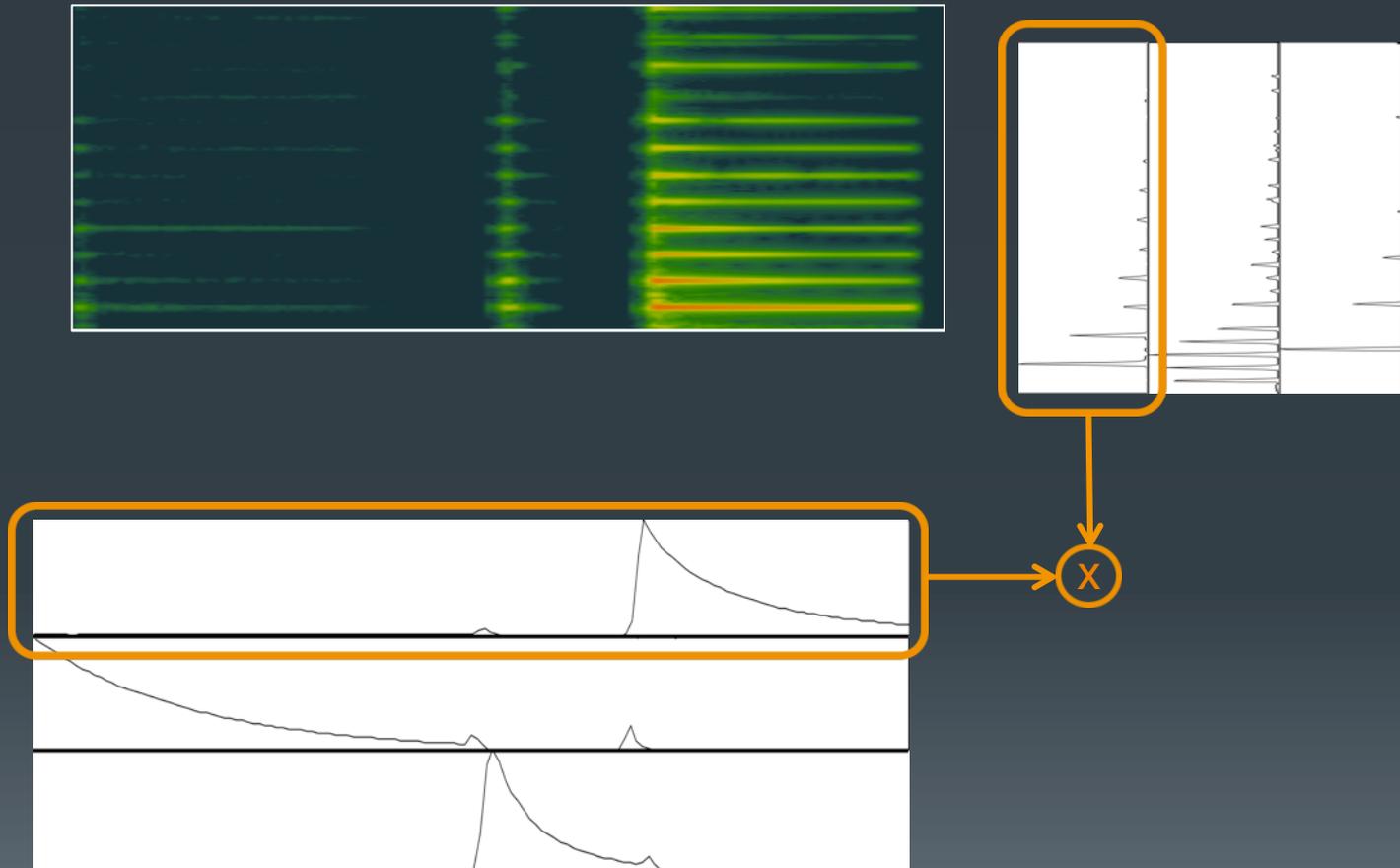
Factorsynth (J.J. Burred)



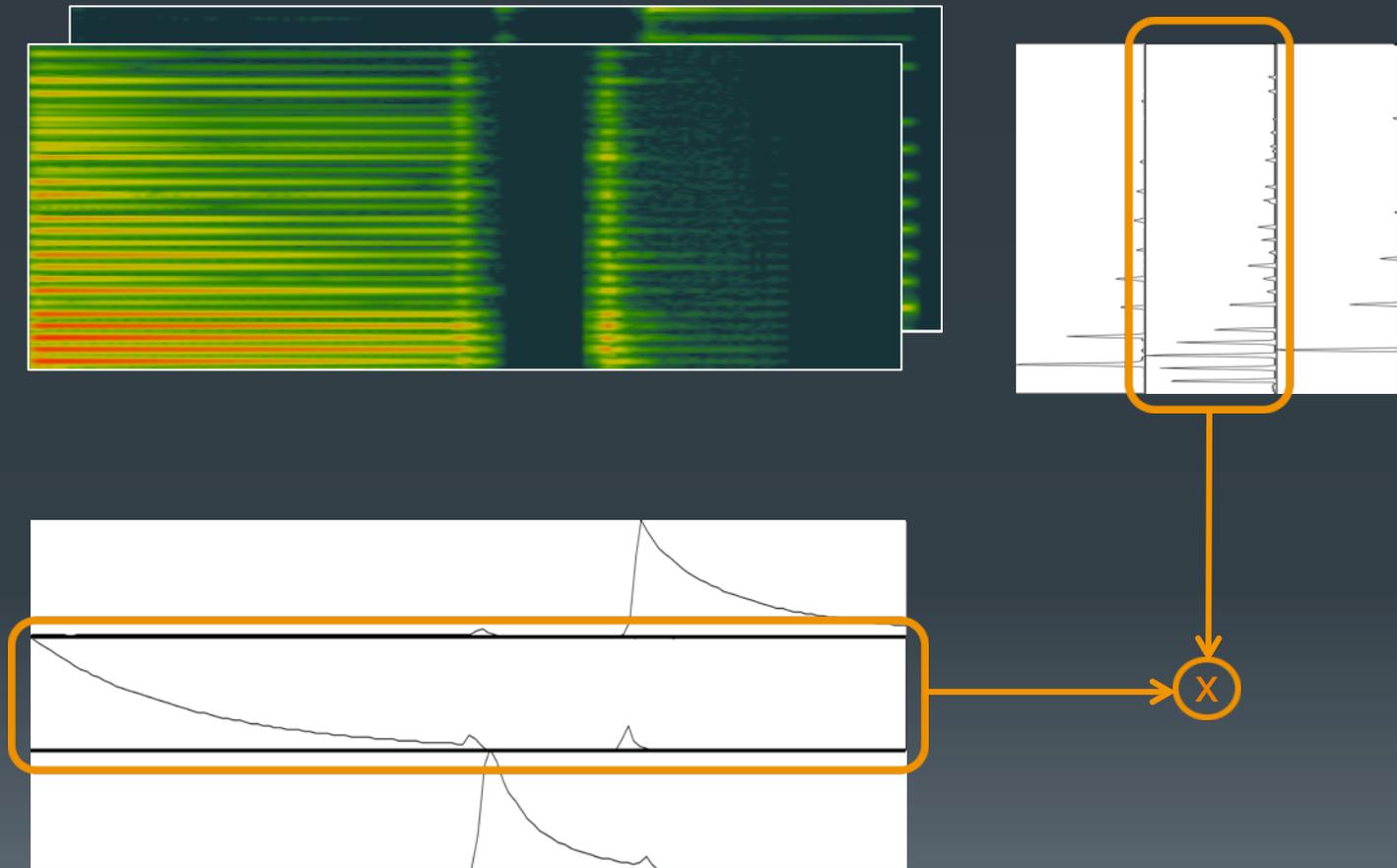
Factorsynth (J.J. Burred)



Factorsynth (J.J. Burred)

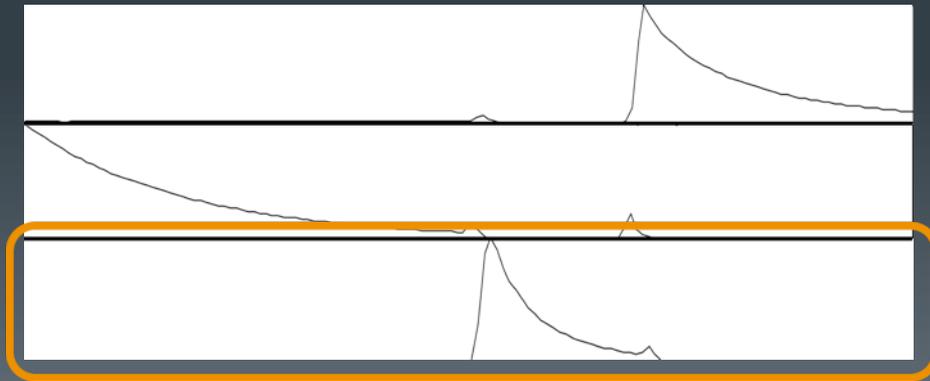
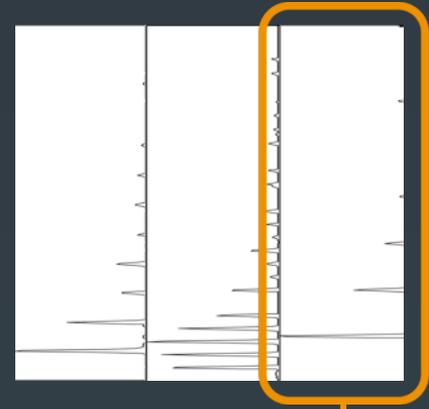
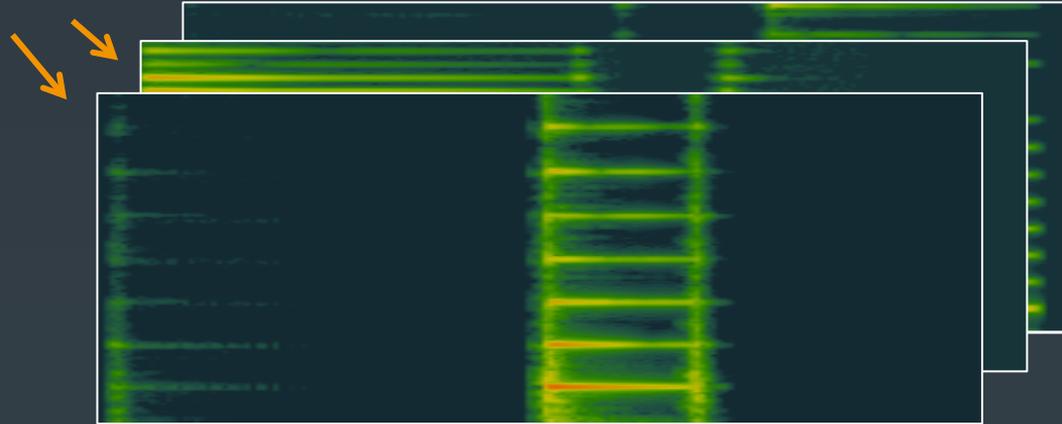


Factorsynth (J.J. Burred)



Factorsynth (J.J. Burred)

componentes →



X

Factorsynth (J.J. Burred)

- Versiones prototipo en Max (jjburred.com)
- Versión actual como plugin MaxForLive para Ableton Live

The screenshot displays the Factorsynth v1.4 interface, which is divided into several functional sections:

- Top Bar:** Includes a logo, version number (v1.4), and control panels for ANALYSIS (resolution: 80 ms, hop: 0.25%), CLEAR (all, x-syn), EXPORT (selected components, all components, bounce to file), and MIXER (master, x-syn, dry/wet) with volume knobs.
- Left Panel (MASTER):** Shows the input file 'bach_short', component count (8), and buttons for FACTORIZE and Master operations.
- Right Panel (X-SYN):** Shows the input file 'beet_piano1.wav', component count (8), and buttons for FACTORIZE and X-Syn operations.
- Waveform View:** A large central area showing the input and output waveforms, along with a progress bar.
- Component Analysis:** A grid of 8 columns (1-8) and 8 rows (X1-X8) of waveforms, with a diagonal line of blue circles indicating component relationships.
- Control Grid:** A grid of 8 columns and 8 rows of circles, with some circles highlighted in red, representing component selection or processing status.

Conclusiones

- Para descubrir lo último en métodos de síntesis sonora:
 - Mirar proyectos en sistemas abiertos como Max y PureData
 - Mirar proyectos de los centros de investigación en tecnología musical
 - IRCAM (París)
 - MTG (Barcelona)
 - CCRMA (Univ. Stanford)
 - CNMAT (Univ. Berkeley) ...
 - Recomiendo Ableton Live como secuenciador para poder usar plugins basados en Max
- Queda mucho por explorar en el mundo del aprendizaje máquina!

Gracias!

jjburred.com

jjburred@jjburred.com