

UN MÉTODO DE VISUALIZACIÓN DE SONIDO BASADO EN LAS MUESTRAS OBTENIDAS DE SU DIGITALIZACIÓN EN TIEMPO REAL

CARLOS GARCÍA MIRAGALL

Laboratorio de Luz, Universidad Politécnica de Valencia.

FRANCISCO JAVIER SANMARTIN PIQUER

Laboratorio de Luz, Universidad Politécnica de Valencia.

Resumen

Dentro de la tradición de Música Visual, proponemos un método de visualización de sonido basado en las muestras numéricas del sonido obtenidas como resultado de su digitalización para un entorno en el que la música y la generación de imágenes se desarrollan en tiempo real, siendo adecuado para eventos audiovisuales en directo.

Si tenemos en cuenta que: un sonido digitalizado no es más que un conjunto de números ordenados en el tiempo que representan la intensidad de la señal en cada instante de tiempo, y una imagen en un instante determinado no es más que un conjunto de píxeles, cuyo valor es un número que representa la intensidad de luz en un punto, en el caso de imagen monocromática un único número y si es cromática un número por cada canal de color. El método que proponemos toma los valores numéricos de las muestras de sonido y los ubica espacialmente generando una imagen en movimiento. En función del método usado para la colocación espacial de las muestras, el número de muestras de sonido usadas (presentes e incluso pasadas) y el número de fuentes sonoras a incorporar, obtenemos diferentes familias de algoritmos de visualización con características estéticas propias.

Este trabajo establece las bases necesarias para abordar la visualización de sonido basada en muestras y presenta unos casos de estudio, realizados con una aplicación en el lenguaje de programación Java.

Palabras-clave: AUDIOVISUALIZACIÓN, SONIDO ESTRUCTURADO, MÚSICA VISUAL, VISUALIZACIÓN DE DATOS, SOFTWARE ART, TIEMPO REAL, MUESTRAS DE SONIDO, SONIDO EXPERIMENTAL

Abstract

In the tradition of Visual Music, we propose a method of sound visualization based on digital samples of sound obtained as a result of digitization for an environment in which music and image generation unfold in real time, being ideal for audiovisual live events.

If we consider that: a digitized sound is just a set of numbers arranged in time representing the intensity of the signal at each instant of time, and an image at a given moment it is no more than a set of pixels, whose value is a number representing the light intensity at a point, in the case of monochrome image a unique number and if chromatic number for each color channel. The proposed method takes the numerical values of the sound samples and spatially located generating a moving image. Depending on the method used for spatial positioning of the samples, the number of samples used sound (present and even past) and the number of sound sources to integrate, we get different display algorithms families with own aesthetic characteristics.

This work establishes the necessary measures to address the sound visualization based on samples and presents a case study, performed with an application in the Java programming language bases.

Keywords: AUDIOVISUALIZATION, STRUCTURED SOUND, MÚSICA VISUAL, DATA VISUALIZATION, SOFTWARE ART, REAL TIME, SAMPLE SOUND, EXPERIMENTAL SOUND.

1. INTRODUCCIÓN

La idea de obtener imágenes a partir de la música ha sido tratada a lo largo de los siglos; no como un movimiento independiente sino siempre dentro del contexto cultural y tecnológico de cada época. Este esfuerzo histórico por buscar relaciones entre la música y el sonido se puede agrupar en lo que se ha venido a denominar Música Visual, que fundamenta su naturaleza en la noción de sinestesia (Brougher 2005).

En base a los medios tecnológicos involucrados en la creación de las imágenes, podemos trazar dos etapas históricas que hacia finales del siglo XX convergerán en los sistemas digitales. Por un lado la tradición de órganos de color o instrumentos visuales, que se basa en realizar extensiones o modificaciones de instrumentos musicales con sistemas de proyección acoplados, capaces de establecer relaciones directas y en tiempo real entre el sonido y la imagen -el intérprete conforme toca la música va lanzando y generando las imágenes-. Y por otro la tradición que surge alrededor del cine y el video analógico, estas tecnologías, con sus peculiaridades, permiten almacenar sonido e imagen sincronizada y procesar sus elementos de forma independiente para su posterior reunión.

Con la llegada del ordenador se produce la convergencia a un único dispositivo capaz de diseñar instrumentos de color, de fusionar el cine y el video en un único medio, de generar imagen sintética y sobre todo capaz de traducir la imagen y el sonido en un mismo lenguaje, el lenguaje de los números. En este contexto es cuando las posibilidades creativas de conexión entre el sonido y la imagen se manifiestan en su plenitud -sintetizadas en un lenguaje común-.

1.1. INSTRUMENTOS VISUALES

Desde el siglo XVIII hasta nuestros días científicos, artistas y músicos han propuesto diferentes instrumentos visuales a través de correspondencias sencillas entre propiedades del sonido y la imagen (Peacock 1988). El matemático francés Louis Bertrand Castel, en 1730 construyó el *Clavicorno Ocular*, que podríamos catalogar como el primer instrumento visual. El dispositivo era básicamente un clavicorno modificado de forma que cuando se pulsaba una tecla se corría una cortina desvelando así una ventana de cristal coloreado, a través de la cual pasaba un haz de luz procedente de candelas.

A partir del siglo XX se produce la germinación de las ideas de Castel. En 1893 Alexander Wallace Rimington patenta el primer órgano de color (Wallace, 1912). En 1916, el pintor futurista Vladimir Baranoff, construye el *Piano Optofónico*, un piano eléctrico que generaba efectos ópticos sobre los que podía controlar la intensidad de la luz. El músico y pintor danés Thomas Wilfred en 1919 construyó el *Clavilux*, inspirado en los primeros órganos de color. En (Levin 2000) se realiza un estudio pormenorizado de las aportaciones históricas en este campo.

Esta tradición de instrumentos musicales con capacidades visuales, se ha seguido desarrollando hasta nuestros días. Actualmente las visualizaciones en esta línea se basan principalmente en el protocolo de comunicación entre instrumentos MIDI¹ (Malinowski 2015, Smith 1997, Sapp 2001).

1.2. MEDIOS AUDIOVISUALES

Paralelamente al diseño de instrumentos visuales con la llegada del cine y las nuevas concepciones estéticas que impulsan las vanguardias, se abren nuevas perspectivas en las relaciones entre la música y las artes visuales. El movimiento de Abstracción formaliza parte de su estética en los principios de composición musical (Kandinski 1996). El cine experimental en su vertiente abstracta investiga también los sincronismos entre la música y las formas geométricas. Dos obras representativas de esta línea de investigación son *Rhythmus 21* (1921) de Hans Richter y *Symphonie diagonale* (1924) de Viking Eggeling. Len Lye en *Free Radicals* (1958) utiliza técnicas de animación experimental, rasgando el celuloide para dibujar líneas de luz que siguen ritmos. El español Javier Aguirre construye la estructura de su película *Espectro siete* (1970), a partir de una partitura musical que traduce a color usando el efecto Döppler².

Por otro lado durante la primera mitad del siglo XX, los científicos desarrollan dispositivos de análisis y visualización de sonido, como el osciloscopio y el espectograma (Potter 1947). Es importante destacar la adecuación al campo del arte que realiza la cineasta Mary Ellen Bute de estos dispositivos (Moritz 1996).

En los años sesenta y como reacción a los *mass media*, surge la estética del videoarte y la videoinstalación como una continuación del cine experimental. El abaratamiento de los costes de producción que supone el formato de video analógico y su manipulación electrónica proporciona el entorno adecuado para que los artistas investiguen nuevas formas de presentar la imagen y el sonido. Artistas como Nan June Paik y los Vasulka a través de sus experimentaciones con sintetizadores de video analógicos establecen nuevas formas de generar imagen y sonido, basadas en la propia estructura del medio en este caso electrónico (Baigorri, 2004, Bonet, 2010). De esta forma subrayan la relación interdisciplinar arte- tecnología, trabajando la imagen-procesada por sintetizadores para generar nuevos lenguajes contrarios al televisivo.

El investigador y artista Dan Sandin en 1970 construye el video-sintetizador *Image Processor*, con el que se podía manipular video en tiempo real. En 1968, el artista Stephen Beck construye el primer visualizador electrónico, el *Direct Video Zero*, este dispositivo a partir del sonido generado por un sintetizador producía imagen sintética. En 1976 el diseñador Robert Brown construye el primer visualizador electrónico comercial, el *Atari Video Music*.

Hacia finales de los setenta y herederos de las estéticas del cine experimental y videoarte, surge dentro de la cultura popular el género del Videoclip Musical, como un producto comercial orientado principalmente a la promoción de grupos musicales (Sánchez 2009). Un aspecto interesante que aporta este género en el campo de la visualización es que las imágenes siempre se crean después de la música y en función de esta.

1.3. SISTEMAS DIGITALES

Con la expansión de la tecnología digital se abre un nuevo marco para reformular la herencia analógica y plantear nuevos retos en el campo de visualización. Como heredero directo del *Atari Video Music*, en 1985 la empresa Infinite Software lanza al mercado *Sound to Light Generator* para el ordenador *ZX Spectrum*. Este software representa el inicio de una serie de programas orientados a visualizar música, generando imágenes geométricas cuya forma y disposición varía a lo largo del tiempo en función de la intensidad del sonido y su frecuencia. A finales del siglo XX se produce el auge de este tipo de herramientas informáticas cuyos modelos de visualización se incorporaban como plugins dentro de los reproductores de sonido más extendidos. Por ejemplo, el popular *G-Force* de Andy O'Meara, que fue diseñado para incorporarse con el reproductor iTunes en el año 2000. En la actualidad existe un gran número de programas de visualización con estas características.

Junto a estas iniciativas de carácter comercial, la tecnología digital ha proporcionado un nuevo marco creativo, con la aparición de lenguajes de programación orientados al tratamiento de sonido e imagen como *Pure Data*, *Max/Msp* y *OpenMusic*, y la incorporación de librerías para tratamiento de sonido e imagen en lenguajes de programación generalistas. Una buena muestra de las posibilidades creativas en este nuevo contexto es la recopilación de trabajos que se presentan en *Optofonica* (2009) y *Reline* (2002).

El método que presentamos está enmarcado en estas últimas iniciativas, apoyándose en toda la tradición histórica que hemos revisado brevemente.

2. VISUALIZACIÓN BASADA EN MUESTRAS DE SONIDO

El método de visualización que proponemos está pensado para un entorno en el que la música y la generación de imágenes se desarrollan en tiempo real, siendo idóneo para entornos de directo, como performances, conciertos o proyectos escénicos.

Primero presentamos las ideas principales del método a través de un ejemplo sencillo, con la finalidad de tener una concepción global de lo que se pretende realizar. Posteriormente realizaremos una definición más formal del método. Y por último presentaremos diferentes estrategias para abordar la ubicación espacial de las muestras de sonido que conducirán a los diferentes algoritmos de visualización.

2.1. DE NÚMEROS A NÚMEROS

Cuando capturamos mediante un sistema digital sonido o imagen en movimiento éste traduce o aproxima dicha información en un conjunto de números, denominados para el sonido muestras de sonido, y para las imágenes píxeles. Ambos tipos de medios son dependientes del tiempo y los números representan intensidad de sonido e intensidad de luz o color respectivamente.

En el caso del sonido, su interrelación con el tiempo es tal, que sólo podemos percibirlo a través de su devenir temporal. Por lo tanto si pensamos en un instante de tiempo solo tendremos una muestra de sonido, un número que indica su intensidad pero únicamente lo podremos percibir en su relación con sus muestras anteriores y futuras. El sonido es un medio del tiempo y por consiguiente del cambio, percibir el sonido es percibir cambios. Desde un punto de vista fisiológico para percibir sonido debe producirse una vibración exterior, por ejemplo la generada al tocar las cuerdas de una guitarra, esta vibración o energía se propaga a través del aire hasta llegar a nuestro oído que la transforma en impulsos nerviosos que envía al cerebro y este finalmente interpreta. Resulta interesante resaltar que mediante un proceso parecido al del sonido, a través de los ojos obtenemos imágenes de nuestro entorno que se convierten en impulsos nerviosos que el cerebro interpreta. Con lo que de alguna forma también usamos un lenguaje interno común para el sonido y la imagen.

La dependencia de la imagen con el tiempo no es tan estrecha como con el sonido. Puesto que en un instante de tiempo una imagen tiene una entidad propia, representa un cuadro, una fotografía. Un instante visual es mucho más complejo que un instante sonoro. Desde un punto de vista numérico, tenemos que una muestra de sonido es un número entero y un fotograma de imagen en movimiento está formado por $n \times m$ píxeles, siendo n y m números naturales, donde cada píxel está además formado por tres números naturales uno por cada canal de color (*rgb*). De cualquier forma cada elemento que forma la imagen, es decir cada píxel, además de indicar un color determinado nos da la idea de intensidad o fuerza, cuyo significado es similar al de intensidad sonora. En cierta forma esta es la propiedad que vamos a usar para conectar un medio con el otro.

En este contexto digital donde el sonido se representa como números y la imagen también. Lo que proponemos es generar una imagen digital usando como píxeles los números del sonido correspondiente. El esquema se basa en que la representación digital interna de un sonido y de una imagen o conjunto de imágenes es en ambos casos un conjunto de números que representan intensidad sonora en el caso del sonido e intensidad lumínica en el caso de la imagen. De esta forma establecemos una relación directa entre ambos medios, a través del concepto de intensidad. Como es lógico para desarrollar este método hay una serie de parámetros adicionales que tendremos que ajustar, para que ambos medios: el sonido y su correspondiente imagen sean concordantes.

Con la finalidad de mostrar las principales características que presenta este método vamos a desarrollar primero un ejemplo muy simple que nos sirve de modelo para entender el método.

2.2. EJEMPLO

Supongamos que tenemos conectada a la tarjeta de sonido de un sistema informático una fuente sonora, por ejemplo un teclado que emite un sonido muy simple, una onda sinusoidal. Las tarjetas de sonido traducen variaciones eléctricas en variaciones numéricas, de forma que tras un periodo de tiempo tendremos un conjunto de muestras de sonido, números. Estos

números se almacenan en un vector o almacén de datos que a partir de ahora denominaremos *buffer*. A partir de ese conjunto de muestras debemos construir una imagen que en este modelo simplificado tendrá un único canal de color, y además cumple las siguientes condiciones:

- ♦ El número de muestras de sonido (tamaño del *buffer*) y la dimensión de la imagen (un fotograma), su número de píxeles, deben coincidir.
- ♦ El método para ubicar en el espacio las muestras de audio es por orden de posición en el *buffer* colocándolas de izquierda a derecha y de arriba abajo (*idab*).
- ♦ Las muestras de sonido negativas del sonido en la imagen se interpretan en positivo ya que en los modelos de color no se consideran números negativos, y desde el punto de intensidad sonora es igual de intensa una muestra de valor 1 y -1.
- ♦ Los píxeles del modelo de color, toman valores en el intervalo [0. .1], donde 0 es negro, 1 es blanco y cualquier valor intermedio es un nivel de gris.

Teniendo en cuenta esto y dado un *buffer* de 20 muestras, que representa un patrón sinusoidal:

buffer = (0,0.2,0.4,0.6,0.8,1,0.8,0.6,0.4,0.2,0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -0.8, -0.6, -0.4, -0.2,0)

El método generará una imagen de 5 x 4, con los siguientes valores:

$$imagen = \begin{pmatrix} 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix}$$

Que tendrá el aspecto visual de la figura 1.



Fig.1. Imagen generada a partir del sonido.

Con este modelo simplificado se pueden apreciar como era de esperar algunas de las relaciones directas que se producen entre la imagen y el sonido. Puesto que se trata de un fragmento de sonido periódico simple, este mantiene un patrón repetitivo que se aprecia en la imagen, a través de simetrías. Estas simetrías aparecerán siempre y cuando el método de ubicación espacial de las muestras tenga en cuenta de alguna forma la posición de las muestras en el *buffer*. En el ejemplo hemos usado el método de izquierda a derecha y de arriba abajo, pero si usamos métodos similares las simetrías también aparecerán por ejemplo de derecha izquierda de arriba abajo, de abajo a arriba y de izquierda a derecha, y otros.

En un escenario real tendremos un sistema mucho más complejo, donde el *buffer* varía a lo largo del tiempo y no solo tenemos un *buffer* sino un conjunto de *buffers*, uno por cada una de las líneas de entrada.

2.2. UN MÉTODO DE VISULIZACIÓN BASADO EN MUESTRAS DE SONIDO

Como hemos visto en el apartado anterior de manera informal el método que proponemos consiste en recoger a intervalos de tiempo muestras de sonido de la tarjeta de sonido, y con esos números formar una imagen. Las premisas fundamentales en las que se apoya el método son las siguientes: uso exclusivo de los números en valor absoluto de las muestras de sonido para construir las imágenes y correlación temporal entre las muestras de sonido y

cada uno de los fotogramas de las imágenes en movimiento, de forma que para construir un fotograma en un instante determinado de tiempo, sólo usaremos muestras de sonido obtenidas en dicho instante e instantes anteriores a t.

En el momento que generamos una imagen se pueden usar todas las muestras de sonido del *buffer* actual y todas las muestras de sonido pasadas, incluso de *buffers* anteriores. Esto conlleva que la relación principal que se establece entre el sonido y la imagen es a través de la propiedad de intensidad, estableciendo la correspondencia intensidad sonora e intensidad visual. El concepto de intensidad visual que estamos manejando, no se identifica necesariamente con el concepto de luminosidad. Dado un pixel de una imagen en un modelo de color RGB (Red Green Blue), este viene definido por los tres colores primarios según el sistema de mezcla aditiva (tres canales de color). En este modelo el valor numérico de cada canal de color representa la intensidad de ese color en la mezcla final.

La tarjeta de sonido cada cierto tiempo (frecuencia de muestreo) obtiene una muestra (número) de cada una de las líneas de entrada, tendremos tantas como instrumentos conectados a ellas. Estas muestras se van almacenando en un *buffer*. Cuando el *buffer* está lleno (ha transcurrido un intervalo de tiempo determinado), este se pasa a las aplicaciones conectadas con la tarjeta de sonido para que lo procesen, en nuestro caso para generar una imagen. Por lo tanto internamente trabajamos a nivel de *buffer*, siendo su tamaño configurable.

Formalmente el problema lo podemos plantear de la siguiente forma. Dado un instante de tiempo t , y dados tres *buffers* con $r + 1$ muestras, siendo $r \in \mathbb{N}$, correspondientes a tres líneas de entrada:

$$buffer_t^1 = \{s_0^1, \dots, s_r^1\}, buffer_t^2 = \{s_0^2, \dots, s_r^2\} \text{ y } buffer_t^3 = \{s_0^3, \dots, s_r^3\}$$

El método obtiene como resultado la matriz de salida lienzo, en el instante t :

$$lienzo_t = \begin{pmatrix} p_{0,0} & \dots & p_{0,m-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n-1,0} & \dots & p_{n-1,m-1} \end{pmatrix}$$

Donde n y m , son el número de filas y columnas respectivamente de la matriz lienzo, siendo $n \times m = r + 1$, y $n, m \in \mathbb{N}$ y $P_{x,y}$ es el elemento de la matriz que ocupa la posición (x,y) , siendo $x \leq (n - 1)$ y $y \leq (m - 1)$ por lo que cada elemento de la matriz $P_{x,y}$ está formado por tres valores uno para cada uno de los canales de color. Estos valores serán muestras de sonido tomadas de alguno de los tres *buffers*. Dependiendo de cómo asignemos estos valores obtendremos diferentes algoritmos de visualización. A continuación presentamos los más básicos, que pese a su simplicidad presentan de forma clara las posibilidades del método.

Para probar el método y sus algoritmos de ubicación hemos diseñado una pequeña aplicación en el lenguaje de programación Java. En <http://audiovisualizacion.blogs.upv.es/> hemos dejado un conjunto de resultados en formato de video con diferentes estrategias de ubicación de las muestras y sonidos, usando la aplicación desarrollada.

El primer algoritmo que vamos a ver se corresponde con la estrategia en la que las muestras de sonido se ubican de izquierda a derecha y de arriba abajo (*idab*) y cada una representa un canal de color.

Para cada conjunto de muestras $s_i = (s_i^1, s_i^2, s_i^3)$ donde $i \leq r$, $i \in \mathbb{N}$ y cada elemento de la terna (s_i^1, s_i^2, s_i^3) se corresponde con cada uno de los tres *buffers* respectivamente, su ubicación espacial será la posición (x,y) de la matriz *lienzo*, donde:

$$x = \text{div}(i, m) \\ y = \text{mod}(i, m)$$

Con lo que la imagen quedará de la siguiente forma:

$$lienzo_t = \begin{pmatrix} s_0 & \cdots & s_{m-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m*(n-1)} & \cdots & s_{(m*n)-1} \end{pmatrix}$$

En la figura 2 podemos observar tres fotogramas correspondientes al método de izquierda a derecha y de arriba abajo (*idab*), para 3 canales con sonidos periódicos y con frecuencias medias.



Fig. 2. Tres fotogramas obtenidos como resultado del algoritmo de ubicación *idab*.

Como se observa en la figura 2, las simetrías debidas a la periodicidad del sonido en este algoritmo aparecen de forma horizontal. En el caso que el sonido sea más grave las líneas se presentan más gruesas. En <http://audiovisualizacion.blogs.upv.es/>, se pueden apreciar, mediante los videos, cómo además la sincronización que se produce entre el sonido y la imagen es máxima.

El segundo algoritmo que vamos a ver se corresponde con la estrategia en la que las muestras de sonido se ubican de arriba abajo y de izquierda a derecha (*adib*) y cada *buffer* representa un canal de color.

Para cada conjunto de muestras $s_i = (s_i^1, s_i^2, s_i^3)$ donde $i \leq r$, $i \in \mathbb{N}$ y cada elemento de la terna (s_i^1, s_i^2, s_i^3) se corresponde con cada uno de los tres *buffers* respectivamente, su ubicación espacial será la posición (x, y) de la matriz *lienzo*, donde:

$$\begin{aligned} x &= \text{mod}(i, n) \\ y &= \text{div}(i, n) \end{aligned}$$

Con lo que la imagen quedará de la siguiente forma:

$$lienzo_t = \begin{pmatrix} s_0 & \cdots & s_{n*(m-1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n-1} & \cdots & s_{(m*n)-1} \end{pmatrix}$$

En la figura 3, podemos observar que las simetrías cuando tenemos sonidos periódicos se producen de forma vertical a diferencia del algoritmo anterior. Por lo demás los resultados son similares.

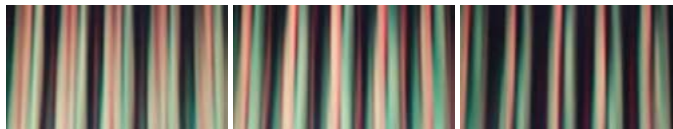


Fig. 3. Tres fotogramas obtenidos resultado del algoritmo de ubicación *adib*.

Con independencia del método de ubicación de muestras empleado cuando el sonido que tenemos es un ruido no se perciben, como podemos ver en la figura 4, simetrías y lo que vemos es ruido visual.



Fig. 4. Tres fotogramas generados mediante un ruido, el algoritmo de ubicación es *adib*.

En la figura 5, podemos ver la aplicación de un algoritmo híbrido, donde para el *buffer*₁ y *buffer*₃ usamos el algoritmo de *abid* y para el *buffer*₂ el de *idab*. Como podemos apreciar se mezclan simetrías verticales y horizontales. Es interesante resaltar que en estos casos la sensación visual es muy similar a la sonora en el sentido que se mantiene la separación de los sonidos.



Fig. 5. Tres fotogramas generados mediante un algoritmo de ubicación híbrido.

En este apartado hemos presentado solo dos algoritmos de ubicación, que pese a su simplicidad nos dan una idea de las posibilidades visuales del método. Con pequeñas modificaciones podemos obtener los 6 restantes algoritmos obtenidos de las variaciones de izquierda a derecha y de arriba abajo. Además de otros tantos obtenidos por estrategias en zigzag, métodos aleatorios de ubicación, utilización de *buffers* anteriores al actual y cualquier combinación de las técnicas anteriores.

3. CONCLUSIONES

El método que hemos presentado se fundamenta en el hecho que desde el punto de vista informático el sonido y la imagen en movimiento son secuencias de números y simplemente lo que planteamos es construir las imágenes en función de los números del sonido. Es importante en el método la premisa de no introducir elementos externos al sonido y ser rigurosos con respecto a la concordancia temporal. Para tal fin hemos implementado una aplicación en el lenguaje de programación Java, con el fin de poder experimentar con diferentes estrategias de ubicación espacial de las muestras de sonido. De momento se han probado algunas de las más básicas como son colocar las muestras de sonido de izquierda a derecha y de arriba abajo, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Pese a la simplicidad de los algoritmos de ubicación ya se puede apreciar la estrecha relación que se produce entre el sonido y la imagen. Desde el punto de vista de sincronización las imágenes parecen bailar con el sonido. Al estar divididas las líneas de sonido en diferentes canales de color se pueden apreciar los diferentes instrumentos a través de las imágenes. En el caso que el sonido sea aceptablemente periódico y se aplique una estrategias que mantiene el orden de las muestras de sonido, se aprecian simetrías con características estéticas relacionadas con la frecuencia. Hay que dejar claro que no hemos usado la propiedad de frecuencia en ningún momento, la observamos a través de la intensidad.

Finalmente nos gustaría comentar que el método aquí propuesto y los algoritmos de ubicación comentados suponen un importante paso en nuestra investigación, puesto que han sentado las bases de una visualización del sonido creativa basada en la propia estructura del sonido. Como futuros trabajos se plantea sobre todo profundizar más en los algoritmos de ubicación espacial, dotándolos de cierta inteligencia artificial, en la hibridación de dichos algoritmos y en la posibilidad de a través de transformadas matemáticas trabajar con la propiedad de frecuencia.

Referencias

- Aguirre, Javier. 1970. *Espectro Siete*. Película 35 mm.
- Baigorri, Laura. 2004. *Vídeo, Primera etapa*. Madrid: Brumaria.
- Bonet, Eugeni, et al. 2010. *En torno al vídeo*. Universidad del País Vasco.
- Brougher, K. et al. 2005. *Visual Music: Synaesthesia in Art and Music since 1900*. Los Angeles: The Museum of Contemporary Art.
- Kandinsky, Wassily. 1996. *De lo espiritual en el arte*. Barcelona: Paidós.
- Levin, Golan. 2000. *Painterly Interfaces for Audiovisual Performance*. M.S. Thesis, MIT Media Laboratory.
- Lye, Len. 1958. *Free Radicals*. Película 16 mm. 4'.
- Malinowski, S. The Music Animation Machine [accedido 14, junio, 2015]. <http://www.musanim.com/>.
- Moritz, M. 1996. "Mary Ellen Bute: Seeing Sound" en *Animation World* vol. 1(2)
- Optofonica. 2009. *Tez* (curator). DVD.
- Peacock, K. 1988. "Instruments to Perform Color-Music: Two Centuries of Technological Experimentation" en *Leonardo*. vol. 21(3).
- Potter, P. et al. 1947. *Visible Speech*. New York: Van Nostrand.
- Reline a video artist. 2002. Phoenix, Perry (Curator), Form Records. DVD.
- Rhythmus 21. 1921. Richter, Hans. 3'25". Película 16 mm.
- Sánchez, J. A. et al. 2009. *Historia, estética e iconografía del videoclip musical*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Sapp, C.S. 2001. "Harmonic Visualizations of Tonal Music" en *Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference*. San Francisco, California: International Computer Music Association.
- Smith, S. and Williams, G. 1997. "A Visualization of Music" en *Proceedings of Visualization 1997*.
- Symphonie diagonal. 1924. Viking Eggeling. 7'. Película 16 mm.
- Wallace Rimington, A. 1912. *Color Music: the art of Mobile Color*. London: Hutchinson & Company.

Notas

- 1 MIDI son las siglas de Musical Instrument Digital Interface, se trata de un protocolo de comunicación diseñado inicialmente para controlar sintetizadores.
- 2 El efecto Döppler es el aparente cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador.
- 3 Un sonido periódico es aquel que presenta patrones repetitivos a lo largo del tiempo, el sonido de los instrumentos se considera un sonido periódico. Un sonido aperiódico es un ruido