

# Sonificación de los datos generados por ATLAS

Francisco Javier Díaz, Matías Zabaljáuregui

Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas  
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.  
{jdiaz, matiasz}@info.unlp.edu.ar

**Resumen.** La sonificación es el uso del audio no hablado para representar información o perceptualizar datos. Debido a las características específicas del sentido de audición, como su resolución temporal, de frecuencia, de localización, y de presión, la sonificación se presenta como una técnica alternativa o complementaria a las técnicas de visualización de datos. Nuestro trabajo encara la colaboración con un científico del CERN para sonificar los datos generados por ATLAS, uno de los cuatros grandes experimentos incluidos en el Large Hadron Collider. Para ello, utilizamos MAX/MSP, un lenguaje de programación visual diseñado específicamente para la síntesis y procesamiento de sonido en tiempo real. Las decisiones más importantes tienen que ver con la asociación entre los datos del experimento y las cualidades (y combinaciones) de los sonidos generados para lograr una percepción efectiva por parte del usuario de aquellos eventos relevantes.

**Keywords:** sonificación, visualización, nuevos medios.

## 1. Introducción

*"The auditory system is the best pattern recognition device we have. If you're trying to find patterns in complex, time-varying data, then listening to it is much more effective than looking at it".* Bruce Walker, físico y psicólogo del Georgia Institute of Technology, EEUU. Miembro del Sonification Lab.

Como se menciona en la cita, en ciertas situaciones, el sentido de la audición puede ser tan o más eficaz que el sentido de la vista para monitorear, interpretar y navegar datos complejos. Si se usan sonidos en lugar de imágenes como medio de representación de los datos, se habla de sonificación en lugar de visualización. Se suelen listar ciertas ventajas o beneficios de la sonificación:

- movimiento libres: en lugar de tener que fijar los ojos en una pantalla u otro dispositivo de salida gráfica, el usuario puede moverse con mayor libertad
- monitoreo en paralelo con otras tareas: si un cambio drástico en el flujo de datos se representa con un cambio drástico en el sonido, el sistema de sonificación automáticamente llamará la atención del usuario, quien puede dedicarse a otras tareas mientras tanto

- resolución temporal: la resolución temporal del sistema auditivo es cerca de dos veces más alta (20-30ms) que la resolución temporal de la visión (50-60 ms). Si consideramos la localización espacial, el sistema auditivo puede diferenciar intervalos de tiempo de menos de 1ms.
- rangos dinámicos muy grandes: escuchamos en un gran rango de amplitudes y alturas lo que permite una gran resolución de representación de los datos.
- información complementaria: la representación por medio del sonido puede ser utilizada en combinación con la visualización clásica.
- estructuras escondidas: como la escucha es simplemente una forma diferente de percepción, una técnica de sonificación puede mostrar nuevas estructuras en los datos que no eran detectadas por medio de la visualización.

Por estos y otros motivos, la sonificación es un campo de investigación cuyo estado del arte se mueve rápidamente y cada vez llama más la atención de científicos, ingenieros y grupos interdisciplinarios. Entre las implementaciones recientes más destacadas, pueden mencionarse aquellas relacionadas con la sonificación de la actividad volcánica [6] gracias a la colaboración de organizaciones como DANTE, dedicada a la coordinación de redes para la investigación (junto a EGEE y EELA), o la sonificación de la actividad del viento solar [7] llevada a cabo por investigadores de la Universidad de Michigan. La nasa ofrece su propio framework, llamado xSonify [8] y la Universidad de California ha diseñado uno de los laboratorios más importantes del mundo, llamado Allosphere [9], donde la ingeniería y los nuevos medios se combinan para lograr nuevos paradigmas de visualización y sonificación de datos científicos. Allí se llevan a cabo una gran cantidad de proyectos de realidad aumentada y espacios virtuales inmersivos aplicados distintas ramas de la ciencia y la tecnología.

Es importante destacar que la sonificación diseñada sin cuidado puede generar sonidos molestos y agotadores para el usuario. Los intentos más recientes buscan resultados de audio estéticamente aceptables para que la sonificación sea adoptada ampliamente como una herramienta en la exploración de datos. Idealmente, debería ser algo *placentero* de escuchar.

El interés por las decisiones estéticas en los frameworks de sonificación ha crecido considerablemente, hasta volverse uno de los factores fundamentales, como se plantea en [1] y [2]. También la interactividad entre el usuario y el sistema de sonificación ha cobrado importancia, luego de diversos estudios que han demostrado el incremento de la eficacia mediante el uso de estas técnicas. Pueden estudiarse algunas de estas aproximaciones en [4] y [5].

## 2. Conceptos introductorios

El oído humano puede percibir señales periódicas con frecuencias entre los 20 Hz y los 20.000 Hz. La frecuencia es detectada en una escala logarítmica con base 2, por lo tanto se suele hablar de altura o *pitch*. Un intervalo de una octava en términos de

altura tonal significa un incremento del doble de la frecuencia base del intervalo. Es posible utilizar mensajes MIDI [13] para comunicar alturas, intensidades y duraciones de los sonidos entre los distintos módulos de software y hardware.

El timbre es la micro-estructura de un sonido, se caracteriza por las frecuencias que componen el espectro de un sonido y por su envolvente dinámica. Define al sonido en términos cualitativos.

La espacialización del sonido es el uso de alguna de las posibles técnicas para localizar la fuente del sonido, real o virtual, en un lugar determinado en el espacio, también real o virtual. Los avances en espacialización, debido al desarrollo de la multimedia, la música electroacústica y las tecnologías del entretenimiento, en los últimos años han sido muy importantes, como puede estudiarse en [12].

A continuación se mencionan brevemente algunos métodos básicos de sonificación, según las taxonomías aceptadas [3]. La primer gran distinción que debe hacerse es la que separa a la sonificación de los métodos de composición algorítmica utilizados por los músicos académicos a partir del siglo XX. La sonificación es la generación de sonido a partir de datos sólo si es sistemática, objetiva y reproducible, de manera que pueda ser utilizada como un método científico. Cualquier técnica que utilice datos de entrada y genere (eventualmente en respuesta a algún estímulo adicional) señales sonoras puede ser llamada sonificación si y sólo si:

- (A) el sonido refleja las propiedades y/o relaciones de los datos de entrada.
- (B) la transformación es completamente **sistemática**. Esto significa que hay una definición precisa de cómo las interacciones y los datos generan cambios en los sonidos.
- (C) la sonificación es **reproducible**: dados los mismos datos de entrada y estímulos adicionales, el sonido resultante debe ser estructuralmente idéntico
- (D) el sistema puede ser intencionalmente utilizado con diferentes conjuntos de datos puede utilizarse repetidamente con el mismo conjunto de datos

De acuerdo con esta definición, las técnicas de audificación, los audífonos o íconos auditivos (*earcons*), la sonificación basada en modelos y la sonificación basada en el mapeo de parámetros son formas válidas de sonificación. Todas representan información o datos mediante el uso del sonido de manera estructurada.

En la audificación los valores de un flujo de datos son directamente interpretados como muestras de audio. Los íconos auditivos son eventos sonoros que se utilizan para presentar información de un sistema, principalmente, como respuesta a las acciones de un usuario. La sonificación basada en modelos genera sonidos derivados de sistemas dinámicos que se parametrizan con el conjunto de datos a ser sonificado. Su propósito principal es la exploración de conjunto de datos de muchas dimensiones los cuales son difíciles de representar gráficamente. Intearctuando con el modelo, el usuario puede ganar un mayor entendimiento de la estructura de los datos subyacentes. Finalmente, la sonificación basada en el mapeo de parámetros es la forma más general de sonificación. Un flujo de datos es constantemente mapeado a algunos de los parámetros del método de generación de sonido. La audificación puede considerarse como el caso más simple de este tipo de sonificación: el método de generación de sonido sería, en este caso, un mapeo identidad. Los flujos de datos modifican los parámetros del método de generación de sonido tales como la altura, la

amplitud, el timbre, la localización, etc, y reflejan de esta forma su contenido y relaciones. Este tipo de sonificación puede realizarse en tiempo real y es ideal para nuestro objetivo. El desafío es encontrar una función de transformación eficaz.

### 3. Análisis de nuestra implementación

El prototipo presentado aquí fue aceptado como proyecto en el programa *Interactivos 2011* realizado en el Espacio Fundación Telefónica de Buenos Aires y continúa desarrollándose con el asesoramiento de los coordinadores del taller. También fue presentado en la convocatoria de proyectos que combinan arte y tecnología, realizada por el Museo de Arte Moderno de Buenos Aires y la Fundación Telefónica de Argentina.

El CERN reúne a miles de científicos provenientes de 20 países miembros y otros tantos países colaboradores, y el LHC es uno de los experimentos más importante de la humanidad hasta el momento. Es difícil cuantificar el enorme poder de este acelerador de 27 km de circunferencia construido a 100 metros bajo tierra. En febrero de 2011, han conseguido hacer colisionar haces de protones a una velocidad sin precedentes: 10.000 colisiones por segundo. De esta forma, los científicos pueden darse una idea de qué ocurrió en la milmillonésima de segundo posterior al Big Bang. También se espera que el LHC permita finalmente confirmar la existencia del bosón de Higgs, que es la única partícula elemental del modelo estándar que no ha sido observada experimentalmente aún. Los enormes detectores generan miles de números en punto flotante por segundo para ser analizados por una enorme infraestructura distribuida entre diversos países, bajo un modelo de Grid Computing.

En 2010, una científica inglesa llamada Lily Asquith propuso la sonificación los datos generados por el experimento ATLAS. Lamentablemente no ha habido ninguna actualización o mejora del proyecto, luego del impulso inicial [11]. En diciembre del año 2010 comenzamos a colaborar con el proyecto, y a proponer nuevas formas de llevarlo aún más lejos. Para esto fue necesario repensar las herramientas y técnicas de sonificación utilizadas, teniendo en cuenta que el estado del arte de esta disciplina se mueve a gran velocidad. Las primeras decisiones tuvieron que ver con migrar el proyecto a una infraestructura construida en base a MAX/MSP y comenzar a diseñar el *mapping* entre ciertas magnitudes físicas y la localización de los sonidos en el espacio, teniendo en cuenta las nuevas técnicas de espacialización [12].

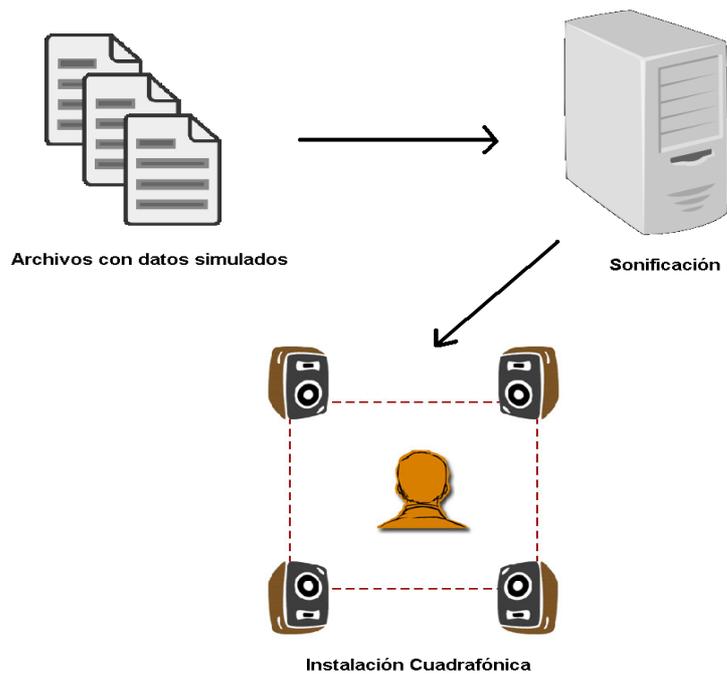
Lily Asquith se comprometió a brindarnos la asistencia necesaria y nos envió un extenso juego de datos simulados, organizados en archivos con columnas de números. Los archivos contienen tres columnas de números. Cada archivo se corresponde con un *jet* (un *spray* de partículas en el detector ATLAS). Cada fila es una pequeña parte del jet (una célula) y las columnas significan lo siguiente:

1: la distancia entre la célula y el punto de interacción (el punto en el medio del detector donde los protones colisionan). Ésta crece a medida que avanzamos en el jet.

2: la distancia angular entre los ejes de las células (los jets tienen una forma cónica y tienen un eje apuntando desde el punto de interacción hacia afuera).

3: la cantidad de energía depositada en la célula, en Mega electronVolts (MeV). El umbral es de 30 MeV.

Nuestra implementación asocia el primer parámetro con la altura tonal del sonido generado, el segundo parámetro con la localización espacial en el plano horizontal y el tercer parámetro con el timbre del sonido (altura espectral). MAX/MSP ofrece todas las funcionalidades necesarias y facilita el control del hardware externo multi-canal necesario para la instalación del sistema completo. En la imagen se observa la arquitectura básica del sistema de sonificación. Los archivos de texto con los datos simulados son leídos por el sistema de sonificación para controlar los parámetros de generación de los sonidos sintetizados. Luego, el algoritmo de espacialización alimenta una instalación cuadrafónica que rodea al usuario.



Los números leídos de la primer columna de los archivos se transforman en alturas codificadas en mensajes de protocolo MIDI. Estos mensajes son enviados a un módulo de síntesis básico implementado para este trabajo.

Las variaciones de timbre se logran a través de la técnica de síntesis por frecuencia modulada [15] que logra una forma de onda compleja de manera muy eficiente. El

parámetro conocido como índice de modulación controla la riqueza espectral del sonido en el algoritmo de síntesis y es el que se utiliza para modificar el timbre.

Con respecto a la espacialización, se utiliza la codificación *ambisonics* [12] para alimentar una instalación cuadrafónica, por ser un buen compromiso entre flexibilidad y costos. Este tipo de sistema se conoce como pantofónico. El algoritmo *ambisonics* puede ser implementado fácilmente por software para codificar la localización de los sonidos en el espacio virtual. Se requieren, como mínimo, 4 parlantes, preferentemente iguales, ubicados en los vértices de un cuadrado (o rectángulo) tan grande como se necesite. Los parlantes apuntan al centro, formando una ubicación ideal en la que los oyentes sentirán estar rodeados por un espacio sonoro en el plano horizontal. Claramente, a mayor cantidad de parlantes, la precisión en la simulación del espacio sonoro es mayor. Si se decidiera trabajar tanto en el eje horizontal como vertical, la cantidad mínima de parlantes necesaria sería de 8. Nuestra implementación utiliza la tercer columna de los archivos de datos para variar la localización de la fuente virtual en el plano horizontal.

#### **4. Conclusiones y trabajo a futuro**

El estado actual de nuestra implementación es más bien prototípico, sin embargo las lecciones aprendidas son fundamentales para seguir adelante. Un factor que no fue tenido en cuenta en esta primer versión es el de la acústica de la sala donde se instala el sistema. Luego de algunas pruebas con individuos, quedó claro que la simulación por medio de *ambisonics* pierde cierta precisión en una habitación asimétrica y sin tratamiento acústico.

Además, el proyecto original no incluye ningún tipo de interactividad con el oyente. Los últimos artículos en sonificación hablan de la sonificación interactiva como el futuro de esta disciplina, por lo que se plantea como una posibilidad cierta. Evidentemente, es posible modificar los parámetros de la instalación utilizando información expresiva del usuario, por ejemplo a través de análisis de movimientos o gestos capturados por video. Hemos comenzado a explorar estas posibilidades en colaboración con investigadores de la Unidad de Gráficos y Visión por Ordenador de la Universidad de Islas Baleares. Para esto, hemos presentado un proyecto de colaboración académica a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

#### **5. Referencias**

- [1] Beilharz K., Ferguson S.: An Interface and Framework Design for Interactive Aesthetic Sonification. Proceedings of the 15th International Conference on Auditory Display, Copenhagen, Denmark. (2009)

- [2] Henkelmann C.: Improving the Aesthetic Quality of Realtime Motion Data Sonification. Computer Graphics Technical Reports. CG-2007-4. Computer Science Dept. II, University of Bonn, Germany. (2007)
- [3] Hermann T. Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display, Paris, France. (2008)
- [4] Hunt A. Hermann T.: The importance of interaction in sonification. Proceedings of Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display, Sydney, Australia. (2004)
- [5] Hermann T., Bovermann T., Riedenklaus E., and Ritter H.: Tangible Computing for Interactive Sonification of Multivariate Data. International Workshop on Interactive Sonification, York, UK. (2007).
- [6] <http://www.dante.net/server/show/ConWebDoc.3075>
- [7] <http://www.physorg.com/news186418364.html>
- [8] [http://spdf.gsfc.nasa.gov/research/sonification/sonification\\_software.html](http://spdf.gsfc.nasa.gov/research/sonification/sonification_software.html)
- [9] <http://www.mat.ucsb.edu/allosphere/>
- [10] <http://www.newscientist.com/article/dn9711-volcanoes-may-reveal-secrets-through-song.html>
- [11] <http://lhcsound.hep.ucl.ac.uk>
- [12] Música y Espacio: Ciencia, Tecnología y Estética. Gustavo Basso, Oscar Pablo Di Liscia, Juan Pampin (compiladores). ISBN: 978-987-558-184-5. Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes. (2010)
- [13] [www.midi.org/techspecs/smf.php](http://www.midi.org/techspecs/smf.php)
- [14] <http://sonification.de/>
- [15] Chowning, J. The synthesis of complex audio spectra by means of Frequency Modulation. Journal of the Audio Engineering Society. Reimpreso en: Curtis Roads & John Strawn, eds. 1985 Foundations of Computer Music. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. (1973)