

# SÍNTESIS ESPACIAL DE SONIDO CON DATOS ESPECTRALES EN EL ENTORNO PURE DATA

OSCAR PABLO DI LISCIA (UNQ)

---

## Resumen

En la actualidad, muchos compositores electroacústicos pueden explorar de manera conjunta la síntesis-transformación de sonido y su tratamiento espacial en tiempo real. A esta modalidad de trabajo se la denominará operativamente *Síntesis Espacial de Sonido*. Se presentarán resultados del uso de la técnica de Análisis, Transformación y Síntesis de sonido *ATS* (Pampin [6]) en forma conjunta con la técnica de espacialización *Ambisonics* (Gerzon [3], Malham [5]) en tiempo real a través del entorno *Pure Data* (Miller Puckette et al). En el marco del programa de investigación *Sistemas Temporales y Síntesis Espacial en el Arte Sonoro* (UNQ, 2015-2019) y del Proyecto de Investigación *Síntesis Espacial de Sonido en la Música Electroacústica* (UNQ, 2013-2014), se desarrollaron aplicaciones que permiten explorar distintas particularidades de la *Síntesis Espacial* en tiempo real. Se discutirán tanto las particularidades técnicas de las aplicaciones, como las cuestiones perceptivas que involucran los resultados sonoros, y su impacto en la estética de la composición electroacústica.

**Palabras clave:** Música Electroacústica, Audio Digital, Procesamiento de Señales Digitales, Sonido Espacial, Percepción de Sonido.

## Abstract

Many electro acoustic composers can at present explore the sound processing and synthesis together with its spatial treatment. This type of work will be called *Spatial Sound Synthesis*. We will present the results of the conjoint real time use of the *ATS* (Pampin [6]) sound synthesis and transformation technique and the *Ambisonics* (Gerzon [3], Malham [5]) spatialisation technique through the *Pure Data* (Miller Puckette et al) environment. Several applications that allow the exploration of the *Spatial Sound Synthesis* were developed on the framework of the Research Program *Sistemas Temporales y Síntesis Espacial en el Arte Sonoro* (UNQ, 2015-2019) and the Research Project *Síntesis Espacial de Sonido en la Música Electroacústica* (UNQ, 2013- 2014). We will address the applications technical features as well as the perceptual issues involved in the sonic results and their influence in electro acoustic composition aesthetics.

**Key words:** Electroacoustic Music, Digital Audio, Digital Signal Processing, Spatial Sound, Sound Perception.

\*\*\*

## 1. La técnica ATS

### 1.1 Generalidades

La técnica ATS (Analysis-Transformation-Synthesis) fué desarrollada por Juan Pampin. Su tratamiento detallado se puede consultar en (Pampin, [7]) pero esencialmente se puede decir que mediante ella se obtiene la representación de dos aspectos complementarios de la señal de audio analizada: la parte determinística y la parte estocástica (también llamada residual). Este modelo fué desarrollado inicialmente por Julius Orion Smith y Xavier Serra [8], pero ATS refina ciertos aspectos del mismo, como la ponderación del resultado del análisis en base a información psicoacústica. La parte determinística consiste en trayectorias sinusoidales con amplitud, frecuencia y (eventualmente) fase, variables en el tiempo. Se obtiene por medio de la depuración de los datos espectrales obtenidos a través de la técnica de análisis basada en la STFT (Short-Time Fourier Transform). La parte estocástica se suele llamar también residual a causa de que se obtiene restando la parte determinística de la residual. Para estos propósitos, la parte determinística se resintetiza preservando la alineación de fase de sus componentes en el segundo paso del análisis. La parte residual se representa con valores de energía de ruido en las 25 bandas críticas (Véase, Zwiker [9]) variables en el tiempo.

La técnica *ATS* tiene las siguientes ventajas por sobre los métodos tradicionales de análisis basados en la *STFT*:

a-La separación entre las partes *determinística* y *estocástica* permite un tratamiento diferenciado de dos aspectos cualitativos diferentes de una señal de audio.

b-La representación de la parte determinística por medio de trayectorias sinusoidales mejora la información y la presenta en una forma que es mucho más cercana a aquella en la que los músicos están habituados a pensar en el sonido. Por lo tanto, permite muchas transformaciones espectrales “clásicas” (como la supresión de parciales o su modificación en frecuencia) de una manera más flexible y conceptualmente clara.

c-La representación de la parte residual por medio de valores de energía de ruido en las 25 bandas críticas simplifica la información y su posterior reconstrucción. Por ejemplo, es posible superar los artefactos que comunmente surgen en la síntesis usando bancos de osciladores digitales cuando se intenta reconstruir una señal muy cercana al ruido modificando su desarrollo temporal.

### 1.2 Aplicaciones de ATS para el análisis

Todas las aplicaciones que se dedican a la síntesis ATS, deben obtener sus datos de un archivo de análisis que ha sido generado previamente. ATS fue originalmente desarrollado en el entorno CLM<sup>1</sup>, pero actualmente existen bastantes aplicaciones informáticas que pueden realizar análisis ATS, entre ellas el programa autosuficiente por línea de comando ATSA (Pampin, Di Liscia y Moss, 2003) y la adaptación de dicho programa para el entorno Csound<sup>2</sup> realizada por Istvan Varga.

Además de ello, hay varias aplicaciones informáticas que tienen una interfaz gráfica y sirven tanto para realizar el análisis como para ver gráficamente los datos, resintetizarlos y/o transformarlos. Dentro de estas últimas, se encuentran:

---

<sup>1</sup> *COMMON LISP MUSIC*, de Bill Schottstaedt, véase: <https://ccrma.stanford.edu/software/clm/>

<sup>2</sup> Barry Vercoe et al, véase: <http://www.csounds.com/>

1-El programa ATSH (Di Liscia, Pampin, Moss, 2001). Es un programa multiplataforma que usa el entorno gráfico GTK<sup>3</sup>.

2-Qatsh (Jean-Philippe Meuret, 2010), basado en ATSH pero usando el entorno gráfico Qt<sup>4</sup>.

3-Spear (Michael Klingbeil, 2009), permite realizar análisis, transformación y síntesis ATS como así también con otras técnicas<sup>5</sup>.

### 1.3 Aplicaciones de ATS para la síntesis y transformación en Pure Data

Diversas unidades de síntesis y procesamiento (denominadas *externals* de aquí en adelante) fueron realizadas y/o adaptadas para la transformación y síntesis de análisis ATS en el entorno *Pure Data*<sup>6</sup> por el autor de este trabajo y/o otros, como así también algunos ejemplos de su uso. Se asume por parte del lector el conocimiento del entorno *Pure Data*. Por razones de eficiencia, se dividen los *externals* dedicados a ATS en:

1-Dedicados a la lectura y almacenamiento de datos.

-*atsread*, (Alex Norman, con modificaciones y ampliaciones de Pablo Di Liscia).

2-Dedicados a la síntesis de datos ATS.

-*oscbank*~ (Richie Eakin).

-*rescbank*~ (Damián Anache y Pablo Di Liscia).

-*ats\_sinnoi*~ (Richie Eakin y Pablo Di Liscia).

-*ats\_noisy*~ (Pablo Di Liscia).

-*ats\_susynth*~ (Pablo Di Liscia).

Todos los ejemplos, junto con los binarios de las aplicaciones, su código fuente, documentación e instrucciones de compilación se pueden obtener libremente en:

<http://puredata.info/Members/pdiliscia/ats-pd>

Una descripción detallada de las técnicas involucradas en la lectura de datos ATS y su síntesis se puede obtener en (Di Liscia, [1]). Sin embargo, resultará útil en esta etapa describir el esquema de flujo básico que implica el uso interconectado de las unidades de síntesis con las de análisis y de lectura para la *síntesis espacial de sonido*.

A- El primer paso consiste en realizar un correcto análisis ATS de una señal de audio por medio de alguna de las aplicaciones ya mencionadas y almacenar el resultado en un archivo ATS. Una vez que se haya cumplimentado, se está en condiciones de usar los datos de análisis en el entorno *Pure Data*.

B- El segundo paso consiste en almacenar y leer los datos del archivo de análisis por medio del *external* de lectura *atsread* en el entorno *Pure Data*.

---

<sup>3</sup> El código fuente, como así también la documentación e instrucciones de compilación se pueden obtener en:

<https://github.com/jamezilla/ats/tree/master/ats>

<sup>4</sup> El código fuente, como así también la documentación e instrucciones de compilación se pueden obtener en: <http://sourceforge.net/apps/trac/speed-dreams/browser/subprojects/soundeditor/trunk?rev=5250>

<sup>5</sup> Lamentablemente, ni los resultados del análisis, ni sus transformaciones, pueden ser almacenados en archivos con formato ATS, ni el programa es de licencia GNU. El binario, como así también la documentación se pueden obtener en: <http://www.klingbeil.com/spear/>

<sup>6</sup> *Pure Data* es un entorno de programación gráfica orientado a sonido y música, creado y desarrollado por Miller Puckette (CRCA, UCSD). Muchos programadores y músicos lo amplían actualmente. Véase: <http://puredata.info>

C- El tercer paso consiste en modificar (si se desea) los datos espectrales por medio de algoritmos diseñados ad hoc en el mismo entorno Pure Data. Por ejemplo, los valores de frecuencia de una o de varias de las trayectorias sinusoidales podrían ser modificados de manera fija o variable. Asimismo, la decisión de cuales datos modificar y de qué manera, implica el desarrollo de determinados algoritmos de selección que implementen los criterios a aplicar.

D- El cuarto paso es la lectura de los datos espectrales por parte de las unidades de síntesis y la consiguiente generación de las señales de audio correspondientes.

E- Finalmente, se pueden implementar algoritmos de selección de los diferentes datos espectrales y-o de las señales de audio que estos generan a fines de que tengan un tratamiento espacial diferenciado. Esta etapa será profundizada en la sección siguiente.

## **2. Aplicaciones de ATS para la síntesis espacial en Pure Data**

### ***2.1 El concepto operativo de Síntesis Espacial de Sonido***

La Síntesis Espacial de Sonido se puede concebir como un modo de sintetizar/procesar sonido/música en el que el compositor trabaja conjuntamente las cualidades espaciales, o, viceversa, en una espacialización de sonido en la que el compositor genera o procesa los materiales en función de ésta. En la composición de música electroacústica, espacialidad y la síntesis del sonido se suelen abordar de forma independiente, como dos estadios separados de la producción o realización. Si bien esta disociación emerge de los recursos de producción empleados, existe una realimentación constante entre estos dos aspectos que los compositores siempre conciben como interdependientes, aunque mas no sea de forma intuitiva.

Recientes enfoques analíticos (Kendall, [4]) han puesto énfasis en el *interjuego* entre las propiedades espaciales y tímbricas de los materiales sonoros como base para la apreciación de una obra electroacústica. Según este enfoque, sería posible identificar cualidades espaciales propias de determinadas fuentes sonoras, que son luego modificadas de manera ostensible y deliberada por los compositores en una obra electroacústica. Kendall señala, específicamente, algunos procedimientos característicos de la música electroacústica aplicados a la síntesis y transformación de sonido en conjunción con la cualidad espacial. Entre ellos se encuentran, en primer lugar, las técnicas que modifican el desarrollo temporal “normal” de un sonido propio de una fuente sonora (granulación) generando ambigüedades en cuanto a la cantidad y ubicación de las fuentes sonoras virtuales. En segundo lugar, las técnicas que pueden modificar la proyección espacial original de los componentes espectrales de los sonidos emitidos por una fuente sonora (todos los procedimientos derivados de las técnicas de análisis-resíntesis con datos espectrales). La aplicación de tales procedimientos de manera sistemática podría constituir la base sobre la cual organizar una obra electroacústica concebida para sistemas envolventes de sonido.

### ***2.2 Síntesis Espacial de Sonido usando ATS***

Lo anteriormente tratado sugiere que el paradigma de representación y tratamiento de datos espectrales de tipo determinístico-estocástico que implementa ATS es sumamente útil y eficiente para la Síntesis Espacial de Sonido. Para su aplicación, es necesario

diseñar e implementar criterios por los que el espectro de la señal representada sean divididos.

En (Di Liscia y Calcagno [2]) se establece que pueden realizarse dos tipos de particiones de la señal digital sonora, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia. A estos dos tipos se los denominó respectivamente partición cuantitativa y partición cualitativa.

La partición cuantitativa se realiza teniendo en cuenta datos numéricos que delimitan rangos, sin otro criterio extra: por ejemplo, se puede dividir el espectro de una señal digital en un número específico de bandas de frecuencia. En la técnica ATS, las trayectorias sinusoidales que representan los distintos parciales pueden ser agrupadas de diferentes maneras de acuerdo con sus relaciones, como así también las 25 bandas críticas que representan la energía de ruido de la parte residual. Dichos agrupamientos pueden así ser objeto de un tratamiento espacial por separado en el que tengan una ubicación angular y/o de distancia diferentes y aún cambiantes.

La partición cualitativa intenta separar distintas partes del espectro de acuerdo con un determinado criterio que implica la consideración de atributos de la señal en un nivel de análisis más alto: por ejemplo, en el dominio del tiempo, las porciones que corresponden al ataque de un sonido de piano y la de su posterior extinción, o la separación entre vocales y consonantes en una señal con sonidos de habla.

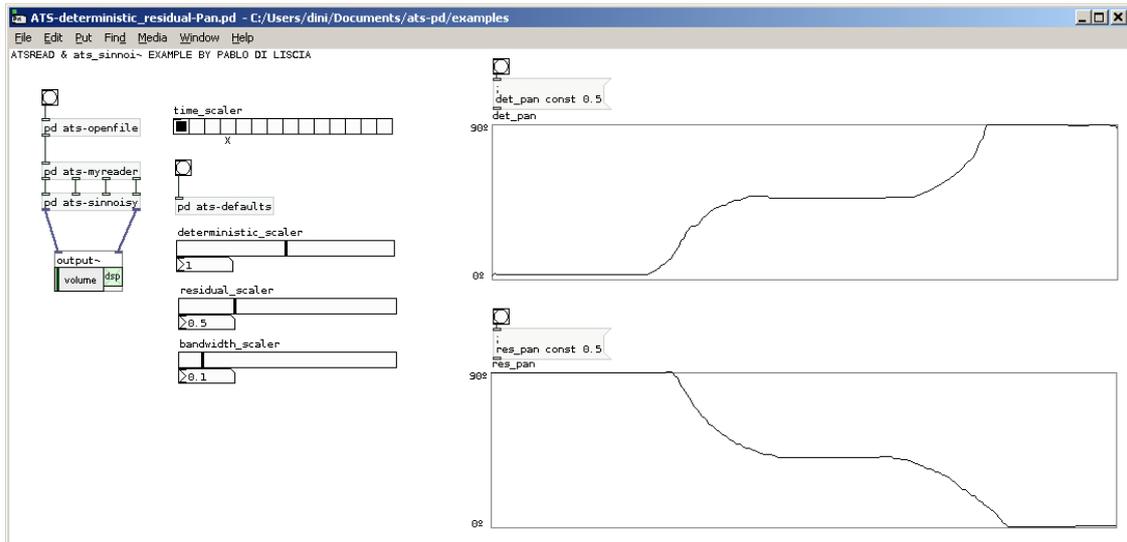
En el dominio de la frecuencia, la separación cualitativa que ya realiza la técnica ATS al representar la señal en una parte determinística (por medio de trayectorias sinusoidales) y otra residual o estocástica (por medio de energía de ruido en las 25 bandas críticas) es ideal para su tratamiento espacial diferenciado y permite una gama muy variada de efectos de agrupamiento perceptivo.

Se muestra en la figura siguiente una captura de pantalla de muestra de un patch de Pure Data en el que se ejemplifica de una manera sencilla el tratamiento espacialmente diferenciado de los datos determinísticos y residuales de un análisis ATS. Las abstracciones `ats-openfile` y `ats-myreader` abren un archivo ATS y disponen sus datos para la lectura y entrega en el tiempo que se les solicite. La abstracción `ats-sinnoisy` recibe los datos de índice, frecuencia, amplitud determinística y amplitud de ruido de cada parcial y los entrega al tiempo correcto al `external ats_sinnoi~`, que produce dos señales de audio como salida: por su outlet derecho la parte residual y por su outlet izquierdo la parte determinística. Eso permite que el usuario pueda mezclar a su gusto distintas proporciones de cada una de ellas. Abajo, a la derecha, se encuentran tres sliders que permiten controlar la amplitud de los datos determinísticos, la amplitud de los datos residuales y el ancho de las bandas de los datos residuales. Finalmente, a la derecha se pueden ver dos tablas para el control de la localización angular en estereo de la parte determinística y la parte residual. El rango de los valores del eje vertical es de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ <sup>7</sup>. El usuario puede, a través de estas tablas, establecer funciones independientes de panorámico variable en el tiempo para las partes determinísticas y residuales de un análisis.

A pesar de ser muy sencillo, este ejemplo demuestra claramente la naturaleza de la síntesis espacial de sonido, ya que permite lograr la disociación de dos partes cualitativamente diferentes del análisis de un único sonido y segregar estas partes mediante recursos de espacialización.

---

<sup>7</sup> En realidad, es de 0 a 1, pero ese valor es convertido luego a radianes en el rango de 0 a  $\pi/2$ .



Se debe tener en cuenta que las distintas particiones posibles de la señal digital en el dominio del tiempo y de la frecuencia, deben estar relacionadas con criterios perceptivos (e.g., la sonoridad de cada uno de los flujos de acuerdo con su ubicación y ancho en el continuum de frecuencia) para lograr efectividad y sentido.

En principio, el sistema de espacialización que se use es independiente de los criterios de selección y ubicación espacial, pero debe tenerse en cuenta su efectividad en rangos de frecuencia y/o amplitud determinados. Es ampliamente conocido que el indicio interaural de intensidad que usan muchos sistemas de espacialización disminuye en efectividad hacia abajo de aproximadamente 1400 Hertz y por debajo de los 700 Hertz es prácticamente nulo debido a la difracción que se produce en torno a nuestra cabeza.

Es interesante señalar que, mediante la técnica ATS, es posible también aplicar una “doble partición” cuantitativa-cualitativa. Las trayectorias sinusoidales que corresponden a la parte determinística pueden tener un tratamiento diferenciado de las que corresponden a la parte estocástica y, a la vez, un tratamiento diferenciado de acuerdo con las bandas de frecuencia a las que corresponden.

Finalmente, la técnica ATS permite el tratamiento de los datos en el dominio del tiempo y, aun, la partición de estos en el dominio del tiempo de acuerdo con datos espectrales (e.g., la determinación de transitorios de ataque a través del grado de variabilidad de las trayectorias sinusoidales). Sin embargo, esto requiere un análisis de los datos espectrales de más alto nivel que debe realizarse mediante algoritmos *ad hoc* o, en su defecto, directamente por el mismo usuario de manera previa al procesamiento.

## Conclusiones

Según se postula en [4], el tratamiento espacial diferenciado de distintas partes del espectro de una señal produce una disrupción en el agrupamiento perceptivo. Si un sonido que los oyentes perciben como producido por una fuente única se presenta por medio de múltiples imágenes espaciales se produce una competencia entre el

agrupamiento por pertenencia a única fuente conceptual o por segregación espacial. El uso de tal recurso tiene muchos refinamientos, que dependen de la naturaleza de las fuentes sonoras involucradas y de nuestro conocimiento a priori de los sonidos que generan, como así también de los recursos y técnicas para particionar su espectro o su forma de onda y tratarlos espacialmente. El agrupamiento de eventos y objetos sonoros y de las secuencias y estratos que forman, es una de las claves en la percepción de música y secuencias sonoras que mediante el concepto operativo de síntesis espacial de sonido en el sentido en que se ha tratado, deviene en un significativo medio de enriquecimiento de la creación sonora. Mediante las aplicaciones informáticas y la teoría desarrolladas se facilita a los creadores la exploración de esta línea de trabajo y, acaso, el descubrimiento de nuevas posibilidades o ampliaciones.

\*\*\*

## REFERENCIAS

- [1] DI LISCIA, Oscar Pablo, 2013: *A Pure Data toolkit for real-time synthesis of ATS spectral data*. Linux Audio Conference 2013, IEM, Graz, Austria.
- [2] DI LISCIA, Oscar Pablo, CALCAGNO, Esteban, 2014: *Hacia una metodología de análisis de la cualidad espacial del sonido en la música electroacústica*, Ponencia realizada en el Congreso Internacional de Artes “Revueltas del Arte”, UNA, Buenos Aires, 20 de Noviembre, 2014.
- [3] GERZON, M. A., 1973: “*Periphony: With-height Sound Reproduction*”, Journal of the Audio Engineering Society, vol. 21, N° 1, pp. 2-10.
- [4] KENDALL, Gary, 2009: “*La interpretación de la espacialización electroacústica: atributos espaciales y esquemas auditivos*”. En Gustavo Basso, Oscar Pablo Di Liscia y Juan Pampin (Eds.). *Música y espacio: ciencia, tecnología y estética*. Bernal: Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes.
- [5] MALHAM, Dave 2009: “*El espacio acústico en tres dimensiones y su simulación por medio de Ambisonics*”, En Gustavo Basso, Oscar Pablo Di Liscia y Juan Pampin (Eds.). *Música y espacio: ciencia, tecnología y estética*. Bernal: Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes.
- [6] PAMPIN, J., 1999: “*ATS: a Lisp Environment for Spectral Modeling*”. Proceedings of the 1999 International Computer Music Conference. Beijing: Computer Music Association.
- [7] PAMPIN, Juan. 2011. *ATS\_theory*  
[http://wiki.dxarts.washington.edu/groups/general/wiki/39f07/attachments/55bd6/ATS\\_theory.pdf](http://wiki.dxarts.washington.edu/groups/general/wiki/39f07/attachments/55bd6/ATS_theory.pdf)

- [8] SERRA, X., y SMITH III, J. O., 1990: “A Sound Analysis/Synthesis System Based on a Deterministic plus Stochastic Decomposition”, Computer Music Journal, Vol.14 #4, MIT Press, USA.
- [9] ZWIKER, Ernst y FASTL, Hugo. 1990. *Psychoacoustics Facts and Models*. Springer, Berlin, Heidelberg.

\*\*\*

**Oscar Pablo Di Liscia.** Compositor y académico, nacido en 1955 en Sta. Rosa (La Pampa) y actualmente residente en la ciudad de Buenos Aires. Doctor en Humanidades y Artes de la UNR, estudió composición de forma particular con los maestros Dante Grela y Francisco Kröpfl. Fué Director de la Carrera de Composición con Medios Electroacústicos en la Universidad Nacional de Quilmes, en la que es, además, Profesor Titular Ordinario de Computación Aplicada a la Música y Composición Electroacústica. Actualmente también es Profesor Titular Ordinario de Laboratorio de Sonido en el ATAM, UNA, institución en la que fue Secretario de Investigación y Posgrado. Ha realizado presentaciones, conferencias y conciertos en diversas universidades y centros en Argentina y el exterior.

Es Director de la Colección “Música y Ciencia” de la Universidad Nacional de Quilmes y Director de la Especialización en Sonido Aplicado a las Artes Digitales del ATAM, UNA.

Su producción artística, que ha recibido subsidios del Fondo Nacional de Las Artes, la Fundación Antorchas, la Fundación Rockefeller y la Fundación Música y Tecnología, ha sido distinguida en competiciones nacionales e internacionales (Fondo Nacional de las Artes, Secretaría de Cultura de la Nación, Concurso Internacional de Bourges, Francia, etc.) y se ha difundido tanto en el país como en el exterior, en USA, Francia, Chile, Cuba, España, Holanda, etc.

Ha publicado libros y artículos sobre estética y técnica de la música y las nuevas tecnologías, y desarrollado software para proceso de sonido y música, análisis musical y composición.

\*\*\*