



Composición algorítmica

Jorge Variego

Composición algorítmica  
Matemáticas y ciencias de la  
computación en la creación musical

UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES

Rector  
Alejandro Villar

Vicerrector  
Alfredo Alfonso



Bernal, 2018

Colección: Música y Ciencia  
Dirigida por Oscar Pablo Di Liscia

Variego, Jorge  
Composición algorítmica: matemáticas y ciencias de la  
computación en la creación musical / Jorge Variego. - 1a ed. -  
Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2018.  
190 p.; 21 x 15 cm. - (Música y ciencia / Pablo Di Liscia)

ISBN 978-987-558-502-7

1. Música. 2. Música Contemporánea. 3. Teoría de la Música.  
I. Título.  
CDD 780.1

© Jorge Variego. 2018  
© Universidad Nacional de Quilmes. 2018

Universidad Nacional de Quilmes  
Roque Sáenz Peña 352  
(B1876BXD) Bernal, Provincia de Buenos Aires  
República Argentina

editorial.unq.edu.ar  
editorial@unq.edu.ar

ISBN: 978-987-558-502-7  
Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723  
Impreso en Argentina

## Índice

Prólogo, por David Cope . . . . .	11
Agradecimientos . . . . .	15
Presentación . . . . .	17
<b>Capítulo I. ¿La composición es algorítmica?</b> . . . . .	19
Guido D'Arezzo . . . . .	21
Johann Fux . . . . .	22
El motete isorrítmico . . . . .	26
La fuga . . . . .	28
El <i>Juego de dados musical</i> de Mozart . . . . .	29
La forma sonata . . . . .	35
La <i>Illiad Suite</i> . . . . .	36
Espectralismo . . . . .	37
Dodecafonismo . . . . .	39
Serialismo integral . . . . .	43
Aproximaciones aleatorias . . . . .	47
La obra temprana de Xenakis, <i>Metástasis</i> . . . . .	55
Color, forma y proporciones en Debussy . . . . .	60
Densidades tímbricas en Giacinto Scelsi . . . . .	65
Conclusiones . . . . .	67
<b>Capítulo II. Modelos de Markov</b> . . . . .	69
Fundamentos teóricos . . . . .	69
Modelos de Markov en la composición . . . . .	70
Una máquina para componer música. John F. Sowa . . . . .	70
Órdenes y ejemplos . . . . .	72
Modelos de Markov ocultos . . . . .	82
Conclusiones . . . . .	82

<b>Capítulo III. Autómata celular.</b> . . . . .	91
Autómata celular unidimensional . . . . .	93
Autómata celular bidimensional . . . . .	96
Autómata celular tridimensional . . . . .	97
CAMUS (Cellular Automata MUSis) . . . . .	98
Chaosynth. . . . .	100
Autómata flexible. . . . .	101

<b>Capítulo IV. Gramáticas generativas.</b> . . . . .	105
---	-----

<b>Capítulo V. Algoritmos genéticos</b> . . . . .	115
Algoritmos genéticos en la composición . . . . .	117

<b>Capítulo VI. Conversaciones algorítmicas</b> . . . . .	121
Richard Barrett, <i>Instituto de Sonología de La Haya, Países Bajos.</i> . . . . .	121
Peter Beyls, <i>Centro para la Investigación de la Tecnología en las Artes, Porto, Portugal</i> . . . . .	124
David Cope, <i>University of California, Santa Cruz, California.</i> . . . . .	127
Ricardo Dal Farra, <i>Concordia University, Quebec, Canadá</i> . . . . .	130
Roger Dannenberg, <i>Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Estados Unidos</i> . . . . .	137
Gottfried Michael Koenig, <i>Instituto de Sonología de La Haya, Países Bajos</i> . . . . .	140
Gerhard Nierhaus, <i>Universidad de Graz, Austria.</i> . . . . .	144
Eduardo Reck Miranda, <i>Plymouth University, Plymouth, Inglaterra.</i> . . . . .	151
Joel Ryan-Autómata Celular en LINA, STEIM, <i>Ámsterdam, Países Bajos</i> . . . . .	153
Rodrigo Sigal, <i>Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras (CMMAS), Morelia, México</i> . . . . .	154

<b>Capítulo VII. Charlie Markov: una aproximación algorítmica al estudio del estilo de Charlie Parker.</b> . . . . .	157
Cadenas de Markov y estudios de estilo. . . . .	157
Aplicación algorítmica de los datos probabilísticos. . . . .	159
Conclusiones. . . . .	167

<b>Capítulo VIII. Arquitectura en movimiento: un modelo para la composición musical</b> . . . . .	169
Parámetros acústicos y su aplicación . . . . .	169
Alturas: respuesta de frecuencia y centroide . . . . .	169

Tiempo I: tiempo de reverberación – <i>Reverberation time</i> (RT) . . . . .	174
Tiempo II: ritmo de las reflexiones iniciales . . . . .	178
Amplitud. Dinámicas musicales y el Factor G . . . . .	179
Estudio para cuarteto de cuerdas . . . . .	183

<b>Bibliografía</b> . . . . .	187
-------------------------------	-----

## Prólogo

Es para mí un placer presentar el nuevo libro de Jorge Variego sobre la composición algorítmica. Como alguien que ha pasado la mayor parte de su vida trabajando en el campo de la composición y de la programación, es una delicia apreciar otro modo de ver la historia de la música y de la música algorítmica.

Jorge ha incluido una gran variedad de compositores y teóricos como Guido D'Arezzo, Fux, Hiller, Xenakis, Gerhard Nierhaus, Gottfried Michael Koenig, y tantos otros que han desarrollado un rico vocabulario para los estudiantes y para los profesionales, a quienes también han servido de modelos. Jorge transita cómodamente muchas disciplinas, como la sociología, la política y la filosofía, formulando una propuesta de largo alcance.

Las entrevistas con personalidades en el campo de la composición algorítmica son un golpe de genio: las conversaciones conviven con el texto y se introducen en él de una manera notable. Por su parte, los ejemplos de código son un espacio reservado para los lectores que necesitan recurrir a aplicaciones prácticas de los temas en estudio.

Jorge ha entretendido diferentes aproximaciones a la composición algorítmica y ha logrado que suenen complementarias. Cada capítulo es independiente y a la vez parte de un todo orgánico. Sumando, además, el uso de ejemplos musicales, cuadros y figuras, hace que el libro sea excepcionalmente útil. Personalmente entusiasmado con este nuevo aporte, destaco que llena un vacío de libros en español sobre el tema. Cuanto más se comprendan los conceptos, los procedimientos, la música y los compositores involucrados en la música algorítmica, más florecerá la profesión, como debiera ser...

David Cope

A mis hijos Sebastián, Aiden y Manuel

## Agradecimientos

Este material no hubiera sido posible (ni en todo ni en parte) sin la colaboración de Richard Barrett, Peter Beyls, David Cope, Nathan Curtis, Ricardo Dal Farra, Richard Dannenberg, Pablo Di Liscia, Paul Koonce, Bárbara Méndez, Gerhard Nierhaus, Julian Peterson, Eduardo Reck Miranda, James Paul Sain, Rodrigo Sigal, Ana Rosa Sismondi, Manuel Variego.

## Presentación

Factores sociológicos, político-sociales y filosóficos han creado las condiciones básicas para el desarrollo del pensamiento algorítmico y de los instrumentos para su aplicación. Asimismo, la estética de los diferentes campos del arte y su adopción en el curso de la historia han contribuido de manera esencial a su evolución. Cada época manifiesta su actitud intelectual a través de especialidades diferentes, lo que genera un gran número de interdependencias entre disciplinas diversas. Desde Guido D'Arezzo hasta nuestros días, la composición musical con algoritmos reafirma la necesidad del pensamiento transversal en la materia, revelando su estrecha vinculación con otras disciplinas artísticas, con la ciencia y con la tecnología.

Este libro aborda problemáticas ligadas a la evolución histórica, el análisis, y la aplicación concreta de procesos algorítmicos en la composición musical. Dividido en ocho capítulos, el material propone una serie de secciones independientes que van desde interrogantes polémicos hasta entrevistas informales con compositores actuales.

El presente es un texto de composición que lejos de intentar un estudio de los métodos compositivos formalizables a través del análisis de obras en particular, propone una perspectiva diferente. El enfoque está guiado por paradigmas que representan *sistemas* de componer. Por ejemplo, cuando se estudie la obra de Johann Fux o de Guido D'Arezzo, el énfasis estará en su innovativo sistema de reglas, procedimientos e instrucciones, y no en su producción compositiva *per se*. Estos sistemas son estudiados (a veces extraídos mediante el análisis), explicados y aplicados en ejemplos concretos. La presentación de los temas en forma circular práctica-teoría-práctica es esencial en este texto.

El capítulo I comienza con un interrogante controversial a través del cual se propone un estudio de los procedimientos algorítmicos en una cantidad de obras, compositores y estilos. ¿La composición es algorítmica? La idea detrás de esta pregunta es descubrir si *toda* la composición musical está basada en algoritmos o sistemas de componer.

Los siguientes capítulos, todos ellos independientes, presentan algunos de los paradigmas algorítmicos encontrados de forma más frecuente en la composición musical. Aquí se estudian los modelos de Markov, las gramáticas generativas, el autómata celular y los algoritmos genéticos. Para facilitar la transición a la práctica, los conceptos teóricos están, en su mayoría, seguidos de ejemplos de código en SuperCollider que proponen aplicaciones concretas de los temas en discusión. De algún modo inspirado por el desafío planteado por el físico norteamericano Richard Feynman, estos ejemplos presentan pequeñas *creaciones* para estimular el *entendimiento*.

Las conversaciones algorítmicas del capítulo VI son entrevistas informales —específicamente realizadas para este libro— con compositores e investigadores sobre temas relacionados con la composición algorítmica. En un tono coloquial, aquí los participantes se explayan extensamente sobre una gran cantidad de tópicos que van desde aplicaciones algorítmicas personales (el proyecto EMI de David Cope o el *Project 1* de Gottfried Michael Koenig) hasta reflexiones generales sobre la estética y potencialidades de la composición con métodos formalizables.

Hacia el final, los capítulos VII y VIII son estudios en los cuales propongo una aproximación al estudio del estilo de Charlie Parker empleando cadenas de Markov con un corpus limitado, y un método para la composición musical basado en los datos acústicos obtenidos de un espacio cerrado.

Los archivos de código completos y actualizados con ejemplos de audio pueden descargarse en forma gratuita del blog <musica-y-ciencia.blog.unq.edu.ar>.

## Capítulo I

### ¿La composición es algorítmica?

Un algoritmo es el conjunto de reglas o una secuencia de operaciones diseñada para completar alguna tarea o solucionar un problema determinado. Desde una perspectiva musical, Gareth Loy (Loy, 1989) sostiene que los algoritmos —por definición— deben tener un número finito de pasos (cada uno de ellos con una definición precisa), tener un *input* y un *output*, y arrojar un resultado dentro de un lapso de tiempo determinado.

En un sentido amplio, la definición de algoritmo tiene elementos en común con lo propuesto por Loy. Según el Diccionario de la Real Academia Española, un algoritmo es un “conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema”. La definición propuesta por el diccionario Oxford es similar en cuanto a los elementos esenciales, define a un algoritmo como un “conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas”. Ambas definiciones concuerdan en que un algoritmo implica la existencia de un conjunto de pasos ordenados para lograr un objetivo específico, solucionar un problema. Considerando nuevamente la definición de Loy, se podría decir que el *output* es una obra musical (en sentido general), y el *input* y la serie de pasos finitos para obtener un resultado estarían conformados por las decisiones sistemáticas tomadas por el compositor durante el proceso compositivo.

La definición clásica de algoritmo reconoce asimismo su carácter determinista (esto es, que siempre llega al mismo resultado) o que este debe *terminar* luego de haber encontrado la solución al problema o de haber agotado la serie de operaciones establecidas. Esta definición no es del todo aplicable a la composición musical donde algunos sistemas algorítmicos generan un *output* indefinido,<sup>1</sup> y otros no son deterministas, ya que están basados en criterios

<sup>1</sup> Véase la instalación de John Luther Adams *The Place Where You Go to Listen* (2004-2006). Se trata de un entorno permanente de sonido y luz situado en la Universidad de Alaska, en el Fairbanks Museum of the North.