

# Composición Automática

Eduardo Solórzano<sup>1</sup> Jeffrey Venegas<sup>2</sup>

*CI-1441 Paradigmas computacionales*

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática*

*Facultad de Ingeniería*

*Universidad de Costa Rica*

<sup>1</sup>*eduardosv5@hotmail.com* <sup>2</sup>*jeffvene@gmail.com*

*Julio de 2016*

## Resumen

Los algoritmos han sido una herramienta de composición musical desde hace siglos. Las reglas de composición de la música clásica están basadas, en su mayoría, en algoritmos inventados por humanos para humanos. Por su naturaleza humana, estos llegan a ser subjetivos y no-deterministas, ahí radica principalmente su belleza, en que están sujetos, en cierto sentido, a la aleatoriedad y al criterio personal del compositor. Aún así, si se delimitan estos algoritmos apropiadamente, se puede desarrollar un sistema basado en las reglas más generales de estos para generar composiciones musicales sencillas a través de una computadora. Para la solución se utiliza una matriz de transiciones como implementación de una cadena de Markov, para la generación de notas de una forma pseudoaleatoria.

**Palabras clave:** Composición algorítmica, Cadenas de Markov, Matriz de transición

## 1. Introducción

Este trabajo representa una propuesta de solución al problema de la composición algorítmica. La implementación de la solución consiste en utilizar una matriz de transiciones entre notas musicales, como implementación de una cadena de Markov, la cual contiene las probabilidades de que una nota cambie

según su grado en la escala. A partir de la nota actual y la matriz de transición, se generan las notas siguientes.

En la siguiente sección se describen algunos trabajos elaborados anteriormente sobre el tema, después de eso, se definen algunos conceptos de composición musical que son importantes para explicar la solución propuesta. En la sección siguiente, se define el problema seguido de los objetivos del trabajo. Luego se detalla la solución propuesta al problema, para finalizar con la implementación de la solución y el análisis de los resultados. Al final del trabajo se indican los problemas encontrados y las posibles mejoras que se pueden realizar, de forma que otras personas interesadas en el tema puedan trabajar a partir de una base concreta, enfocándose en las mejoras.

## 2. Marco teórico

A continuación se muestran algunos trabajos realizados previamente, relacionados con el tema de composición algorítmica, que aportaron ideas al trabajo realizado.

### 2.1. Composición algorítmica

Garbanzo and Esquivel (2015) enfocaron su trabajo en la composición de canciones con estructura básica del género rock de los años ochenta, a partir

de un sistema de reglas y utilizando una biblioteca para reproducir las secuencias generadas en formato MIDI.

## **2.2. Composición musical**

El trabajo realizado por Umaña and Noguera (2015) abarca la técnica del contrapunto. su objetivo consiste en generar notas musicales a partir de una melodía inicial, dada, en formato MIDI, para luego aplicarle las reglas del contrapunto. Como solución a su problema utilizan un sistema basado en reglas e interpretan cada una de esta reglas, utilizando encadenamiento hacia adelante. La técnica del contrapunto se divide en 5 partes o fases llamadas especies; su solución logra implementar la primera especie, utilizando el algoritmo recursivo de las 8 reinas, probando cada uno de los intervalos que son permitidos en la primera especie.

## **2.3. Adquisición del Conocimiento en el Proceso de Composición Musical con Base en Técnicas de Inteligencia Artificial**

Se hace énfasis en las cadenas de Markov para la representación de frases melódicas dónde los estados de dicha cadena pueden ser dados por valores de notas MIDI, frecuencias, tiempos, duraciones, entre otros Astudillo et al. (2015) Representan las cadenas de Markov mediante dos matrices de transiciones, una para las transiciones entre notas musicales y otra para las transiciones entre tiempos y duraciones. Estas son matrices cuadradas, de  $n \times n$ , siendo  $n$  el número de estados. Cada celda de la matriz corresponde a un número entre 0 y 1.

## **2.4. Aspectos de composición musical por considerar**

Para la definición de la solución al problema de investigación se deben tener claros algunos conceptos acerca de la composición musical.

### **2.4.1. Armonía**

Cuando hablamos de armonía, nos referimos a la combinación de diferentes sonidos o notas que se emiten al mismo tiempo, aunque el término también se utiliza para referirse a la sucesión de estos sonidos emitidos a la vez.

La armonía funciona como acompañamiento de las melodías o como una base sobre la que se desarrollan varias melodías simultáneas. Con esto podemos decir que la melodía y armonía son términos muy relacionados entre sí, pudiendo considerar la melodía como un conjunto de sonidos armónicos que se suceden en el tiempo y están en relación con los acordes en los que se basa esa melodía. Martínez and García (s.f.)

En este trabajo la armonía se trabaja produciendo notas solamente en grados de la escala de do mayor, para que a la hora de sonar juntas, siempre se escuche un intervalo de notas agradable al oyente. Se escogió este enfoque debido a que presentaba mayor facilidad a la hora de programar, sin embargo, el código de este trabajo puede ser , de manera sencilla, aplicado con otras escalas de notas.

### **2.4.2. Melodía**

La diferencia principal entre los conceptos de armonía y melodía radica en que la armonía es un concepto "vertical" que se refiere a cómo suenan las notas de manera simultánea mientras que la melodía es un concepto "horizontal" que hace referencia a cómo suenan las notas en una secuencia.

La melodía es toda construcción significativa, resultante de la combinación de sonidos de distintas alturas de cuyas relaciones surge un discurso cuya lógica produce una reacción afectiva en el receptor. Martínez and García (s.f.)

Debido a la importancia de las relaciones entre las alturas de las notas en una melodía es que se escogió utilizar cadenas de Markov para la generación de notas en las mismas, ya que el estado actual definitivamente influye sobre el estado futuro de una nota. Se hará hincapié en esta solución propuesta más adelante.

### 2.4.3. Grados de una escala musical

Una escala musical se compone de notas, estas notas representan grados distintos en una escala musical. Estos se representan con números romanos (I, II, III, ...). Los grados de una escala musical son los siguientes:

Grado	Nombre
I	Tónica
II	Supertónica
III	Mediante o modal
IV	Subdominante
V	Dominante
VI	Submediante o relativa menor
VII	Sensible o séptima

Lo que vienen a representar los grados son los distintos niveles de resolución en una serie de notas, por ejemplo, los grados I y III dan una mayor sensación de resolución que el grado VII, el cual es el más inestable de la escala. Por esta razón es que en el algoritmo de generación de notas musicales, al final de cada frase, genera una nota conclusiva, la cual está en el grado I o III, esto en virtud de darle cierto amarre a las frases musicales generadas.

## 3. Problema de investigación

¿Cómo generar de una manera pseudoaleatoria piezas musicales con sentido armónico y melódico tomando en cuenta las probabilidades de transición de un grado musical a otro?

## 4. Objetivos y cronograma

### 4.1. Objetivo general

Generar composiciones musicales sencillas combinando series de acordes o series de notas musicales con melodías generadas utilizando una matriz de transiciones.

## 4.2. Objetivos específicos

### 4.2.1. Interfaz

Utilizar un lenguaje de programación que brinde mayor facilidad de interacción con el usuario, para ingresar los datos de entrada y reproducir los resultados del sistema. Utilizar una biblioteca que permita reproducir varias frecuencias de manera simultánea y sencilla para el usuario.

### 4.2.2. Cadena de Markov

Diseñar una matriz estocástica como implementación de una cadena de Markov, que permita representar las tendencias de transición entre grados de escalas.

## 4.3. Cronograma

1. Selección del tema de investigación y elaboración de la propuesta: 19 al 30 de abril de 2016
2. Investigación de trabajos anteriores y avance del proyecto mediante la elaboración de un programa que genera notas con distribución uniforme en la escala de Do mayor: 9 de mayo al 8 de junio de 2016.
3. Implementación de la primera versión de un método generador de notas que utiliza cadenas de Markov para la misma: 18 de junio al 9 de julio de 2016
4. Mejoras varias del sistema de reglas para generación de piezas con sentido armónico y melódico, análisis de resultados y reporte final: 10 de julio al 15 de julio de 2016.

## 5. La propuesta de la solución

Se implementa el paradigma del razonamiento basado en casos. Para la generación de las notas musicales se reconoce un caso relevante de una memoria de casos que está conformada por todas las notas musicales de una escala. Cada una de esas notas representa un caso.

Con respecto a la implementación de la solución, las notas se almacenan en una estructura de datos llamada Nota, la cual posee duración, frecuencia, forma de onda, grado que representa en la escala y nombre. Para organizar las notas de cada voz, se tiene un vector de objetos Nota por cada voz de una pieza. Para representar una pieza musical, se tiene un vector de vectores de Notas en el que cada vector representa una voz de la pieza. Para la generación de notas programó un método que utiliza la matriz de Markov descrita anteriormente. Este método generador de notas es a su vez utilizado en un método generador de melodías que es utilizado después en un método generador de piezas, que genera una pieza con melodía y unos acordes arpegiados sencillos.

La propuesta de solución está programada en Processing, un framework libre basado en Java, enfocado al contexto de las artes visuales, brindando facilidad tanto en la creación de código, como en la reproducción y análisis de los resultados. Para reproducir las notas musicales se utiliza una biblioteca perteneciente al framework, llamada Minim.

## 6. Desarrollo, prueba y validación

Se lograron generar melodías y acompañamientos con varios criterios. El más simple de estos es el método que genera notas con distribución uniforme, en el cual la probabilidad de transición de un grado de la escala a otro es la misma. Se utilizó este método como base para la construcción de un método que genera notas según la matriz de Markov que se muestra en los anexos de este documento.

Por medio de esta matriz de transiciones se generan notas dependiendo del estado actual, es decir, el grado de la escala en la que se encuentra la nota.

Se encontraron algunos problemas al guardar las piezas generadas en formato mp3, se cree que esto es un bug de la biblioteca Minim en sí. Además de éste, no se encontraron mayores obstáculos en el desarrollo de la solución.

## 7. Experimentación y análisis

Se lograron generar notas con la matriz de Markov de manera satisfactoria. No se llegó a implementar un criterio pseudoaleatorio para la generación de acordes, por esta razón, los acordes se generan con una distribución uniforme en una escala de do mayor, en arpeggios de cuatro notas.

## 8. Problemas abiertos y problemas futuros

Uno de los problemas futuros es la implementación de esta solución haciendo uso del cálculo de las frecuencias de las notas de una escala, la solución propuesta contempla el valor de las frecuencias de las notas como constantes simples, sin embargo, sería interesante generar escalas de notas basado en los cálculos de frecuencias pertinentes, esto le daría mucha más escalabilidad al código a su vez.

Otro es programar un método que genere cadencias, es decir, series de notas musicales que le dan conclusión a una frase musical.

Además, podría ser incorporado al sistema la capacidad de composición fractal, en la cual se propone la autosimilitud entre las series de notas generadas.

## 9. Agradecimientos

Se le agradece al profesor de la Escuela de Artes Musicales Carlos Escalante Macaya, que brindó su ayuda en la formulación de los criterios de transición entre los grados de una escala musical, además de eso, aportó ideas fundamentales que fueron implementadas en este trabajo y quedarían por implementar en una versión futura del sistema.

## Referencias

E Astudillo, P Lucas, and E Peláez. Adquisición del conocimiento en el proceso de composición musical en base a técnicas de inteligencia artificial. *XI Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software*

*e Ingeniería del Conocimiento y Congreso Ecuatoriano en Ingeniería de Software.*, 2015.

D Garbanzo and O Esquivel. Composición algorítmica. 2015.

T Martínez and R García. Armonía musical: Definición e historia. s.f.

D Umaña and E Noguera. Composición musical. 2015.

## 10. Anexos

### 10.1. Matriz de Markov utilizada para la generación de notas

$$\begin{array}{c}
 I \\
 II \\
 III \\
 IV \\
 V \\
 VI \\
 VII
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 \begin{array}{ccccccc}
 I & II & III & IV & V & VI & VII \\
 0,10 & 0,15 & 0,15 & 0,15 & 0,15 & 0,15 & 0,15 \\
 0,45 & 0,10 & 0 & 0 & 0,45 & 0 & 0 \\
 0,25 & 0,125 & 0,125 & 0,125 & 0,125 & 0,125 & 0,125 \\
 0,20 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,40 & 0,08 & 0,08 \\
 0,40 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,08 \\
 0,20 & 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,40 & 0,08 & 0,08 \\
 0,40 & 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,10
 \end{array}
 \end{pmatrix}$$