

# Zanya: Compositor Evolutivo de Música Virtual

Horacio Alberto García Salas  
e-mail\_itztli@eudoramail.com

**L**a Informática es una disciplina que ha permitido grandes avances en muy corto tiempo y hay que destacar que ha tomado una gran aceleración con la aparición de herramientas como las computadoras y una serie de dispositivos electrónicos que hacen que el mundo en el que vivimos se vuelva cada vez más pequeño.

Prácticamente, todas las áreas del conocimiento humano se han visto apoyadas con el uso de estas nuevas tecnologías, tal es el caso de las bellas artes y en particular de la Música.

De esta manera, tenemos por un lado a la *informática*, que ha revolucionado el mundo drásticamente y por otro lado la *música*, que es tan antigua como el mismo ser humano. Unidas ambas áreas con el paso del tiempo, han creado el marco dentro del cual fue desarrollado este trabajo, "La Música Informática".

En el área de desarrollo informático musical se encuentran diferentes corrientes de desarrollo, así pues encontramos a quienes se dedican a fabricar software de edición musical, reproductores de música, secuenciadores, etc.

Por otro lado, otra de las corrientes, hasta ahora más de tipo experimental, es la dedicada a la obtención

de software para la composición musical automática, "el sueño" de la máquina con la capacidad de componer música por siempre exquisitamente diferente.

---

## INTRODUCCIÓN

---

Con la aparición de los fractales[1] y la aplicación de las teorías de caos[8], el problema de crear una máquina capaz de hacer composición musical automática, se centró en lo natural. Y no es para menos, los hermosos paisajes generados por el científico Benoit Mandelbrot, han mostrado que la mejor manera de hacer modelos es imitar el comportamiento de la Naturaleza[4].

Aplicando teorías fractales, el científico Richard F. Voss[2], ha hecho desarrollo musical informático, obteniendo compositores verdaderamente hermosos. En su trabajo ha desarrollado generadores de ruido browniano, ruido blanco y resalta uno que genera música muy agradable, que se denomina ruido  $1/f$ [5], que de acuerdo a algunos estudios que ha realizado, música como el jazz, la clásica, el blues etc. se comportan de manera muy similar al ruido  $1/f$ . La cuestión es un poco más trascendente cuando se descubre que muchos fenómenos naturales, como la aparición de manchas solares, el crecimiento de las poblaciones, la formación de nubes, etc. tienen un comportamiento similar al ruido  $1/f$ .

Escuchar el algoritmo para la generación de ruido  $1/f$  es bastante agradable.

Por otro lado, el investigador Fernando Galindo Soria ha desarrollado una herramienta informática que tiene una amplia gama de aplicaciones, a la que ha denominado "Sistemas Evolutivos" [3].

Los Sistemas Evolutivos modelan una de las principales características de la Naturaleza, la Evolución.

La Naturaleza ha mostrado desde hace largo tiempo, que los sistemas que evolucionan son los que tienen la capacidad de adaptarse al medio que los rodea. De tal forma que si lo que se pretende al hacer un modelo es imitar a la realidad, ¿porqué no desarrollar modelos o sistemas con la capacidad de adaptarse al medio que los rodea? En general, este tipo de sistemas son hermosos, basta con echar una mirada a nuestro alrededor para percatarnos de los bellos sistemas evolutivos que la Naturaleza tiene por gusto crear, y es que prácticamente todo a nuestro alrededor evoluciona, sean animales, plantas o minerales, en general sufren modificaciones del medio que los rodea y a su vez modifican al medio que los contiene, creándose procesos de coevolución[6], convirtiendo a la evolución en un proceso Universal.

De esta manera, cuando se desarrolla un sistema evolutivo, hay que pensar en un sistema que tenga la capacidad de interrelacionarse con el

medio ambiente y que aprenda a través de él.

Aplicando esta filosofía, se han desarrollado impresionantes Sistemas Evolutivos, algunos de ellos aplicados a la generación de paisajes.

Aplicando la misma filosofía, en este trabajo presentamos el desarrollo de Zanya, un Sistema Evolutivo que tiene la capacidad de aprender y evolucionar de manera permanente, con el fin de hacer composiciones musicales.

## 1. SISTEMA COMPOSITOR

### 1.1 GENERACIÓN DE LAS NOTAS MUSICALES

Como primer paso en el desarrollo de un sistema informático musical, como el que se presenta en este trabajo, es interesante hablar de las notas musicales, que representan la base sobre la cual está sustentada la música.

En términos de la Física, las notas musicales son ondas que están comprendidas en un rango de frecuencias, relativamente pequeño, para el cual el oído humano está perfectamente adaptado. El ser humano tiene la capacidad de escuchar las frecuencias de entre 20 y 20000 Hz[7] y sólo ciertas frecuencias se consideran como notas musicales puras. Cada instrumento musical emite las frecuencias puras de las notas musicales acompañadas por algunas otras frecuencias, denominadas armónicas, que permiten distinguir cuando se trata de un piano, un violín, un saxofón o cualquier otro de los instrumentos musicales que existen.

De esta forma lo primero que se necesita construir es una representación de las notas y se puede lograr almacenando en un arreglo los valo-

Do	#Do	Re	#Re	Mi	Fa	#Fa	Sol	#Sol	La	#La	Si
65	69	73	77	82	87	92	98	103	110	116	123
130	138	146	154	164	174	184	196	206	220	232	246
260	276	292	308	328	348	368	392	412	440	464	492
520	552	584	616	656	696	736	784	824	880	928	984
1040	1104	1168	1232	1312	1392	1472	1568	1648	1760	1856	1968

Tabla 1 Frecuencias de las notas musicales en ciclos/seg.

res de las frecuencias de las notas, creándose de esta manera un "piano virtual" sobre el cual se pueden interpretar melodías y desde luego, hacer composiciones musicales.

Cuando se duplica el valor de una nota, *Do* por ejemplo, que tiene una frecuencia de 65 ciclos/seg, se obtiene una nota que se encuentra una octava o escala más aguda, sin embargo, esta nota también es *Do*, sólo que con una frecuencia de 130 c/s y si volvemos a duplicar este valor, se obtiene otro *Do*, pero aún más agudo, con una frecuencia de 260 c/s. De igual forma se puede hacer con todas las notas musicales. En la tabla 1 se pueden ver los valores de las frecuencias de 5 escalas cromáticas.

### 1.2 MECANISMO GENERAL DE COMPOSICIÓN

A continuación se describirá la forma en la que se generan las composiciones musicales.

Para representar la información musical se utilizan dos matrices una que se ha denominado Matriz Evolutiva Aleatoria y otra que se obtiene a partir de esta, llamada Matriz Evolutiva de Frecuencias Acumuladas. Dichas matrices son arreglos de 60 renglones por 60 columnas, sin embargo, para la explicación de su funcionamiento, utilizaremos matrices de 7 renglones por 7 columnas.

#### A) CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ EVOLUTIVA ALEATORIA

Para ejemplificar el funcionamiento de estas matrices, primeramente, se construye un arreglo cuadrado llamado Matriz Evolutiva Aleatoria, utilizando como etiquetas de las columnas y renglones las notas musicales. Después, se llenarán algunas de las casillas con números aleatorios como se ve en el ejemplo de la figura 1.

#### B) CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ EVOLUTIVA DE FRECUENCIAS ACUMULADAS

A partir de la matriz evolutiva aleatoria se construye la Matriz Evolutiva de Frecuencias Acumuladas y se hace agregando una columna llamada totales, que originalmente está llena de ceros, a la derecha en la matriz evolutiva aleatoria. En cada renglón vamos a hacer un recorrido de izquierda a derecha ignorando las casillas con valor cero.

	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
Do	0	0	90	0	30	40	0
Re	10	0	15	45	20	70	80
Mi	5	25	0	60	0	30	90
Fa	0	80	10	40	15	95	30
Sol	25	15	0	40	65	70	0
La	0	35	5	10	0	0	0
Si	20	30	0	0	60	0	70

Fig 1. Matriz Evolutiva Aleatoria

El primer número (más a la izquierda) del renglón, que se encuentre diferente de cero se suma a totales y el resultado sustituye a este primer número.

El segundo número diferente de cero se suma a totales y el resultado sustituye al segundo número.

Así sucesivamente con todos los valores diferentes de cero, el i-ésimo número diferente de cero se suma a totales y el resultado sustituye al i-ésimo número. Agotados estos, la suma debe quedar almacenada en la columna totales del renglón.

Por ejemplo, el renglón original es

	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Totales
Do	0	0	90	0	30	40	0	0

Y al aplicar el algoritmo queda:

	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Totales
Do	0	0	90	0	120	160	0	160

De esta manera, al recorrer de izquierda a derecha cada uno de los renglones de la matriz evolutiva aleatoria, en la columna totales de la matriz evolutiva de frecuencias acumuladas quedará almacenada la suma de los valores diferentes de cero de cada renglón y en cada casilla con valor diferente de cero se almacenará el valor acumulado durante el recorrido.

En esta forma se obtiene la matriz evolutiva de frecuencias acumuladas, como se ve en la figura 2.

### c) GENERACIÓN DE LA MÚSICA

Los números contenidos en la matriz anterior, representan la probabilidad de pasar de una nota a otra y se van a utilizar para hacer la composición musical mediante el siguiente proceso:

	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Totales
Do	0	0	90	0	120	160	0	160
Re	10	0	25	70	90	160	240	240
Mi	5	30	0	90	0	120	210	210
Fa	0	80	90	130	145	240	270	270
Sol	25	40	0	80	145	215	0	215
La	0	35	40	50	0	0	0	50
Si	20	50	0	0	110	0	180	180

Figura 2. Matriz Evolutiva de Frecuencias Acumuladas

- Se escoge aleatoriamente uno de los renglones de la matriz evolutiva de frecuencias acumuladas y este representa la primer nota de la composición.
- Se utiliza el valor almacenado en la columna totales de ese renglón para generar un número aleatorio entre cero y dicho valor.
- El número aleatorio generado se empezará a comparar de izquierda a derecha con los valores distintos de cero de ese renglón, hasta que se encuentre uno que sea mayor o igual. La nota de la columna donde esté almacenado este número, indica la segunda nota de la composición y el siguiente renglón a procesar.
- Se escoge el renglón correspondiente a la nota anterior y nuevamente se genera un número aleatorio entre cero y el valor contenido en la columna totales de ese renglón. Se compara de izquierda a derecha con los valores diferentes de cero almacenados en las casillas de ese renglón, hasta que alguno de ellos sea mayor o igual al número aleatorio. La columna indica la siguiente nota de la com-

posición y el renglón al que se le aplicará el mismo proceso, que se repite indefinidamente.

Por ejemplo, tómesese al azar una nota, Fa por ejemplo, será la primer nota de la melodía; se toma el valor de la columna totales del renglón Fa, en este caso 270 (véase la fig. 2, matriz de frecuencias acumuladas) y se genera un número aleatorio entre cero y este número. El número aleatorio así obtenido, se compara en orden de izquierda a derecha, con los valores del renglón Fa; al llegar a un valor que sea mayor o igual al número aleatorio, se toma la nota de la columna como la nota segunda de la melodía. Por ejemplo, si se obtiene el número 157, como este es mayor que 145 (nota Sol) y menor que 240 (nota La), se toma la nota La como la segunda nota de la melodía, llevando Fa, La,...

Se repite el procedimiento antes descrito, sólo que ahora se toma el renglón de la nota anterior, La, que tiene en la columna totales un valor de 50, por lo tanto, se genera un número aleatorio entre 0 y 50; por ejemplo el 18, 35 es mayor que 18, luego Re es la tercer nota de la

melodía y así va Fa, La, Re,.... Para obtener la 4ª, 5ª, 6ª y n-ésima nota, basta repetir el mismo procedimiento:

- Se genera un número aleatorio entre cero y el valor de la columna totales del renglón de la última nota obtenida.
- Se compara el número así obtenido con los valores de ese renglón, hasta que alguno sea mayor o igual. La columna en la que se encuentre este valor, representa la siguiente nota de la melodía.



Fig. 3 Fragmento de la obra Los 24 Caprichos de Niccoló Paganini.

## 2. COMPONENTE EVOLUTIVA

A continuación se explicará el funcionamiento de la componente evolutiva del sistema, que le da la capacidad de componer música de cualquier tipo, lo que es una ventaja; ya que, se pueden implementar diferentes tipos de algoritmos para la generación de música, sin embargo, habría que desarrollar algoritmos específicos para cada tipo de música y más complejo aún, habría que hacer un algoritmo específico que refleje las características propias de composición de cada autor, convirtiendo a esta en una tarea que sin duda alguna requeriría mucho de tiempo de programación.

Por lo tanto, la gran ventaja de utilizar las técnicas evolutivas, es que permiten que sea el mismo sistema quien encuentre las reglas de composición y de esta forma, para que el sistema aprenda a componer como algún autor en especial, basta con proporcionarle ejemplos de composiciones musicales de dicho autor, evitando el arduo trabajo de desarrollar miles de algoritmos.

Este sistema evoluciona en base a dos procesos, uno de aprendizaje,

que le da la capacidad de aprender a través de ejemplos de música y por otro lado un proceso de aplicación que mientras el sistema genera alguna composición musical le permite irse modificando a si mismo en tiempo real, como si la música generada fueran nuevos ejemplos de música que se le estuvieran proporcionando.

### 2.1 PROCESO DE APRENDIZAJE

La función que desempeña el proceso de aprendizaje es encontrar los valores apropiados con los que se han de llenar las matrices evolutivas, esto es, qué casillas deberán de contener valores y qué valores se deberán de almacenar en ellas, de manera tal que reflejen las características de algún autor o algún tipo de música en particular.

Para explicar el proceso de aprendizaje se utilizará un breve fragmento de la obra «Los 24 caprichos» del maestro Niccoló Paganini. Este fragmento se muestra en la figura 3.

Basándonos en el teclado de la figura 4, los números correspondientes a las notas de esta composición son los siguientes:

10(La),	13(Do),	17(Mi),
22(La),	25(Do),	29(Mi),
30(Fa),	27(Re),	30(Fa),
24(Si),	30(Fa),	20(Sol),
8(Sol),	12(Si),	15(Re),
20(Sol),	24(Si),	27(Re),
29(Mi),	25(Do),	29(Mi),
22(La),	29(Mi),	18(Fa),
6(Fa),	10(La),	13(Do),
18(Fa),	22(La),	25(Do),
27(Re),	24(Si),	27(Re),
21(#Sol),	27(Re),	17(Mi),
15(Re),	12(Si),	15(Re),
9(#Sol),	15(Re),	5(Mi),
17(Mi),	9(#Sol),	12(Si),
17(Mi),	21(#Sol),	24(Si),
22(La),	17(Mi),	25(Do),
17(Mi),	29(Mi),	34(La),
33(#Sol),	30(Fa),	27(Re),
24(Si),	20(Sol),	18(Fa),
17(Mi),	13(Do),	9(#Sol),
13(Do),	17(Mi),	25(Do),
22(La),		

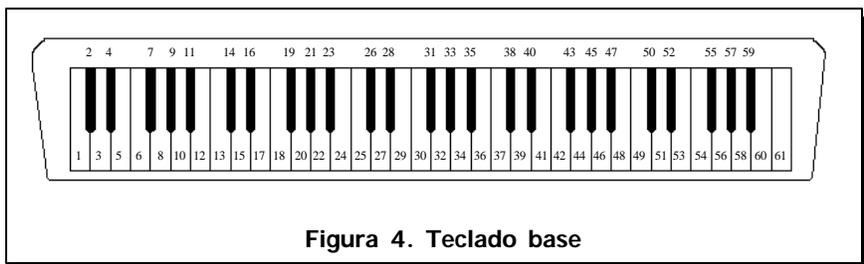


Figura 4. Teclado base

Conforme se vaya avanzando en el ejemplo se podrá observar que el aprendizaje consiste en encontrar las notas que ha utilizado el maestro Paganini, así como contar las veces que se repiten y saber que notas ha usado después de otras con mayor regularidad.

Al iniciar el proceso de aprendizaje, la matriz evolutiva aleatoria se encuentra vacía, es decir llena de ceros.

El primer renglón de la Matriz Evolutiva Aleatoria del sistema (ver figura 5) que sufrirá algún cambio, es el que corresponde a la primer nota del fragmento, es decir el renglón 10 equivalente a la nota La; recorriendo este renglón de izquierda a derecha, se encuentra la columna correspondiente a la nota Do, segunda nota del fragmento, que es la columna 13 de la matriz. Entonces, el valor de la casilla que se encuentra en la intersección del renglón 10 (La) con la columna 13 (Do) se incrementa en una unidad. Tomando en cuenta que el valor ante-

rior era cero, queda almacenado el valor uno. De esta forma se ha incrementado la posibilidad de que la nota Do sea tocada después de la nota La.

Para continuar, se utiliza la nota Do como el número del siguiente renglón que se ha de modificar. Es decir, en el renglón 13 (Do), la segunda nota leída, se incrementará el valor de la casilla, ubicada bajo la columna que corresponde a la tercer nota leída 17 (Mi) en una unidad.

Se repite el mismo procedimiento, modificando en esta ocasión el valor de la casilla que se encuentre en la intersección del renglón 17 (Mi) con la columna 22 (La), que es la cuarta nota del ejemplo.

El mismo procedimiento se lleva a cabo con el resto de la melodía y de igual forma se procede con todos los ejemplos musicales que se le proporcionen al sistema. De esta manera, la matriz se va modificando conforme se le vayan presentando ejemplos. Esta matriz muestra como quedan los valores de las diferentes notas

después de haber aprendido el fragmento de Paganini. (Debido a que la matriz que utiliza el sistema es de 60 renglones por 60 columnas, no fue posible incluir toda la información contenida en la matriz, sin embargo sólo se han quitado algunos renglones y columnas llenos de ceros).

Después de haber leído toda la partitura, se tiene la matriz lista para calcular la matriz de frecuencias acumuladas, la columna de totales y finalmente permitir que el sistema produzca su primera composición.

### 2.2 PROCESO DE APLICACIÓN

La rutina generadora de música, se encarga de llevar a cabo el Proceso de Aplicación, dentro del cual, cada vez que se genera una nota, se modifican las matrices evolutivas, de manera tal que aumenta la probabilidad de que esa nota vuelva a ser tocada, tal y como sucede cuando un músico aprende a tocar.

Un ser humano, tiene que practicar durante "largas horas" para poder interpretar música en algún instrumento musical, repitiendo una y otra vez ejercicios y melodías, con el fin de aumentar su habilidad y de grabar en su memoria los ejercicios y melodías practicadas. De esta forma, las notas que más utiliza son de las que más se acuerda, de hecho, después de mucho practicar puede llegar a tocar sin tener que voltear a ver que nota está tocando.

De igual manera, lo que hace el generador de música cada vez que genera una nota, es aumentar el valor de la probabilidad de la casilla que co-

		5	6	8	9	10	12	13	15	17	18	20	21	22	24	25	27	29	30	33	34	
		Mi	Fa	Sol	#Sol	La	Si	Do	Re	Mi	Fa	Sol	#Sol	La	Si	Do	Re	Mi	Fa	#Sol	La	
5	Mi									1												
6	Fa					1																
8	Sol						1															
9	#Sol							1	1	1												
10	La										2											
12	Si								2	1												
13	Do				1					1	1											
15	Re	1				1		1			1											
17	Mi				1			1	1				1	1		2						2
18	Fa		1							1				1								
20	Sol			1							1				1							
21	#Sol													1		1						
22	La									1						2		1				
24	Si											1		1			1		1			
25	Do								1					1			1	2				
27	Re									1			1		1			1	1			
29	Mi										1			1		1			1			
30	Fa											1			1		2					
33	#Sol																			1		
34	La																					1

Figura 5. Matriz Evolutiva Aleatoria que ha sido llenada con el fragmento de Paganini.

responde a esa nota, provocando que el sistema evolucione indefinidamente y que las notas que más toca sean de las que más se acuerde.

En la figura 6 se muestra el pseudocódigo del proceso de aplicación, donde se puede ver como se modifican las matrices mientras se genera la música, propiciando la evolución de ésta.

En la figura 7 se presenta la partitura de una composición producida por el sistema, después de haber aprendido 4 ejemplos de Paganini.

---

### CONCLUSIÓN

---

Hoy día que se descubre que el Caos hace presa de todos los habitantes de este planeta y quizá de este Universo, resulta muy interesante utilizar herramientas como los Sistemas Evolutivos que generan caos de manera cotidiana y permiten modelar los fenómenos de manera maravillosa.

La versatilidad de los Sistemas Evolutivos ha permitido el desarrollo de Zanya, un sistema compositor que da la oportunidad de escuchar composiciones caóticas por siempre diferentes, pero similares a las de ejemplos musicales de los cuales tiene la capacidad de aprender. Esto provoca un efecto maravilloso, pues abre la posibilidad de escuchar como si estuvieran presentes a autores como Beethoven o Paganini.

Por otro lado, Zanya se puede usar como un apoyo para aprender a hacer composición musical, con la ventaja de contar con la asesoría directa de los grandes maestros o de cualquier autor que uno prefiera.

Queda abierto el camino, ya que este trabajo es parte de un proceso general de composición, en donde se busca mejorar los diferentes sonidos y efectos que se puedan obtener, además de utilizar matrices de 3, 4 ó n dimensiones en donde se puedan reflejar las tantas variables que intervienen en una obra maestra.

Este breve trabajo se verá completo si logra inspirar a alguien a hacer desarrollo musical-informático, para que pueda crecer esta área que se puede considerar nueva.

```

MusicaPorcentual()
{
  a1 = nota_siguiente //Genera un número aleatorio entre el valor almacenado en el
  zz = random( Bethoven[a1][62] )+1; //(renglón a1, columna 62) y cero.

  a2 = 1; //encuentra la columna a2 del renglón a1, que contiene
  while( Bethoven[a1][a2] < zz && a2 <= 60 ) a2++; //un valor mayor o igual al número aleatorio, el
  nota_siguiente = a2; // número de esa columna es la siguiente nota.

  Bethoven1[a1][a2] += 1; //Actualiza (evoluciona) la Matriz Evolutiva Aleatoria.

  if( Bethoven1[a1][a2] > 500 )
  {
    for( a1 = 1; a1 <= 60; a1++ ) //Mecanismo de olvido, cada vez que algún valor de la
      for( a2 = 1; a2 <= 60; a2++ ) //matriz llega a 500, a todos los valores se les divide
        if( Bethoven1[a1][a2] > 1 ) //entre 2 y aquellos menores a 1 se igualan a 1.
          Bethoven1[a1][a2] /= 2;
        else
          Bethoven1[a1][a2] = 1;
    EscalaPorcentual();
  }
  while( a2 <= 62 )
  {
    if( Bethoven[a1][a2] != 0 ) //Actualiza (evoluciona) la Matriz Evolutiva de
    { // Frecuencias Acumuladas
      Bethoven[a1][a2] += 1;
    }
    a2++;
  }
}

```

Figura 6. Pseudocódigo de la aplicación

Figura 7. Partitura generada después de aprender 4 partituras de Paganini

**BIBLIOGRAFÍA**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <p>[1] Fractals in Nature. Benoit Mandelbrot.</p> <p>[2] Música Blanca y Música Parda, Curvas Fractales y Fluctuaciones del tipo 1/f. Martin Gardner. Investigación y Ciencia, junio 1978.</p> <p>[3] Evolución. Fernando Galindo Soria. Septiembre 1995.</p> | <p>[4] Del Azar Benigno al Azar Salvaje. Benoit Mandelbrot. Investigación y Ciencia, diciembre 1996.</p> <p>[5] El Ruido 1/f. Edoardo Milotti. Investigación y Ciencia, noviembre 1996.</p> <p>[6] El Caos, la nueva Física, las nuevas Matemáticas y sus Aplicaciones a las Ciencias Sociales. Miguel José Yacamán. Conferencia dictada en el Colegio de México. Noviembre 1993.</p> | <p>[7] Física General. Francis W. Sears y Mark W. Zemansky. Ed. Aguilar.</p> <p>[8] El Orden Caótico. Monique Dubois, Pierre Aftén y Pierre Bergé. Mundo Científico No 68. Vol 7.</p> |
|---|---|---|