Artículos de Investigación

Tendencias armónicas en la música popular

Harmonic trends in popular music.

Tapia-Santos, Brenda; Pérez-García, Víctor; Zavaleta-García, Norma A.

Brenda Tapia-Santos
Universidad Veracruzana,, México
Víctor Pérez-García
Universidad Veracruzana,, México
Norma A. Zavaleta-García
Universidad Veracruzana,, México

Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
ISSN-e: 2007-6363
Periodicidad: Semestral
vol. 7, núm. 13, 90-96, 2019
sitioweb@uaeh.edu.mx

URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/595/5952976010/

Resumen: A partir de la cantidad de movimientos armónicos que tiene una canción, se establece una correspondencia entre esta y su matriz de transición. Dicha correspondencia nos ayuda a describir y cuantificar las tendencias musicales, en términos de matrices, para el caso particular de la música popular.

Palabras clave: Matriz de transición, Tendencias musicales, Música popular..

Abstract: From the amount of harmonic movements in a song, a correspondence is stablished between it and its transition matrix. This correspondence helps us to describe and quantify musical trends, in terms of matrix, for the particular case of popular music.

Keywords: Transition matrix, Music trends, Popular music.

1. Introducción

En 2016 P. Kiefer y M. Riehl (Kiefer and Riehl, 2016) hicieron un estudio de las progresiones armónicas, usando cadenas de Markov. Ellos estudiaron varias épocas de la música clásica usando los movimientos armónicos entre los 7 grados tonales, por lo que trabajaron con matrices de tamaño 7×7 las cuales describen la armonía, en términos de probabilidad, de movimientos de grados.

Un estudio similar ya lo había hecho D. Tymoczko, en su libro "A Geometry of Music", (Tymoczko, 2011), mas específicamente en el capıtulo 7 titulado Armonía Funcional.

En este trabajo analizamos la tonalidad de una canción a partir de sus acordes con la finalidad de clasificar las canciones y tratar de identificar tendencias musicales en distintas épocas. En particular estudiaremos las canciones número 1 de los años 1997, 2007 y 2017, según datos de la estación de radio Los 40 principales, de Madrid, España, en los40.com. La diferencia con el trabajo de P. Kiefer y M. Riehl, y el presentado aquí, radica en el número de "grados" utilizados para describir el comportamiento de la música popular; mientras que ellos trabajaron con matrices de tamaño 7×7 nosotros requerimos de una matriz de tamaño 30×30 como se explica en la sección 3.

2. Conceptos musicales

La información y conceptos que conforman esta sección se encuentran en los libros “Teoría de la Música” de Francisco Moncada (Moncada García, 1966), “Armonía” de W. Piston (Piston, 1998) y los “Apuntes de Armonía” de Manuel Devesa (Mas Devesa, 2013).

La armonía es el elemento musical que estudia la superposición de sonidos, principalmente, el estudio de los acordes (tres o más notas musicales sonando de manera simultánea), los enlaces entre ellos y las relaciones que existen entre las notas que los conforman.

Las notas musicales naturales son: Do, Re, Mi, Fa, Sol, La,

Si, donde cada una de ellas tiene una frecuencia fija. La forma más común de denotarlas es utilizando el cifrado inglés, esto es, asignándole a cada una de ellas, una de las primeras siete letras del abecedario empezando con La = A, S i = B, Do = C, Re = D, Mi = E, Fa = F, Sol = G. A la distancia entre dos notas se le denomina intervalo. En la tabla 1 se muestran las distancias entre notas consecutivas:

TABLA 1:
Distancia entre notas consecutivas.

Do		Re		Mi		Fa		Sol		La		Si		Do
	‿		‿		∨		‿		‿		‿		∨	

El símbolo ## significa que la distancia de separación entre las notas es de un tono, mientras que el símbolo ∨ corresponde a una distancia de separación de medio tono. Existen otras notas musicales llamadas alteradas y que están a medio tono de aquellas notas separadas originalmente por un tono, es decir, si X y Y son notas musicales distanciadas un tono, denotamos con X#, a la nota alterada que esta medio tono arriba de X, y le llamamos “X sostenido”; y denotamos por Y# a la nota alterada que esta medio tono abajo de Y, y se llama “Y bemol”.

A partir de la distancia entre dos notas, definimos un intervalo como la distancia entre dos notas musicales no necesariamente consecutivas. Los intervalos que usaremos en este trabajo son:

· Segunda menor (2m): Si la distancia entre las notas es de medio tono ($\frac{1}{2}$).
· Segunda mayor (2M): Si la distancia entre las notas es de un tono (1T).
$\frac{3}{2}$ · Tercera menor (3m): Si la distancia entre las notas es de un tono y medio (Importar imagenT).
· Tercera mayor (3M): Si la distancia entre las notas es de dos tonos (2T).

A la superposición de una tercera sobre otra se le llama acorde básico y es el utilizado en la práctica común. Debido a que se tienen dos terceras (mayor y menor), la combinación de ellas dará como resultado diferentes tipos o calidades de acorde, enlistados a continuación:

· Acordes Mayores: 3M, 3m
· Acordes menores: 3m, 3M
· Acordes Aumentados: 3M, 3M
· Acordes disminuidos: 3m, 3m

Si hablamos de las segundas (mayor y menor) tenemos que, la escala mayor es una secuencia de 7 notas, cuya distribución de intervalos de segunda entre sus notas consecutivas, es: 2M, 2M, 2m, 2M, 2M, 2M, 2m. Por ejemplo, la escala Do mayor (C mayor) está dada por

Do		Re		Mi		Fa		Sol		La		Si		Do
	2M		2M		2m		2M		2M		2M		2m	

Finalmente, cada una de las notas tiene un nombre especıfico de acuerdo a la ubicación que tienen dentro de la escala musical, y como cada elemento de la escala se llama grado entonces, existen 7 grados cuyos nombres específicos, según Manuel Mas Devesa, son:

I. Tónica
II. Supertónica
III. Mediante
IV. Subdominante
V. Dominante
VI. Superdominante o Submediante
VII. Sensible (Cuando la distancia entre este grado y la tónica es de un semitono) o Subtónica (cuando la distancia es de un tono)

El acorde correspondiente al grado I o Tónica, le corresponde a una tercera mayor seguida de una tercera menor, por lo que pertenece a un grado mayor. Por otro lado, el acorde correspondiente al grado II o supertónica le corresponde una tercera menor seguida de una tercera mayor por lo que pertenece a un acorde menor. De esta manera tendremos la siguiente clasificación de acordes:

Grado	I	II	III	IV
Calidad	Mayor	Menor	Menor	Mayor
Símbolo	M	m	m	M

Grado	V	VI	VII
Calidad	Mayor	Menor	Disminuido
Símbolo	M	m	o

Como la tonalidad de una canción depende de las notas musicales que usa, si estas pertenecen, en su totalidad o casi en sutotalidad, a una escala musical se dice que la canción está en la tonalidad que rige a dicha escala. Anteriormente se menciono que el análisis se realizara en términos de la armonía musical, es decir, se realizara considerando acorde por acorde, los cuales pueden ser mayores, menores, aumentados o disminuidos que, a su vez, pueden tener asociado un grado en la escala musical. Por simplicidad, el análisis se hará como si se tratara de encontrar una tonalidad mayor para la canción a analizar, si estuviera en una tonalidad menor esta serıa la relativa menor de la tonalidad mayor que se encontró.

3. Matriz de transición

Para ejemplificar la construcción de la matriz de transición, consideramos la siguiente sección de la secuencia de acordes correspondiente a la canción pop en ingles Umbrella de Rihanna:

TABLA 2:
Secuencia de acordes de la canción Umbrella.

F	C	Em	Am	F	C	Em	Am	F	F	C	G	Am,

En la tabla 2 eliminaremos las repeticiones de acordes consecutivos, porque nos interesa la transición hacia acordes diferentes. Si además a cada acorde de la secuencia lo identificamos con un grado de la tonalidad, obtenemos la secuencia de grados:

F C Em Am F C Em Am F C G Am

IV I III VI IV I III VI IV I V VI

La información de las transiciones de un grado a otro se va a guardar en la matriz de transición T, cuya entrada Tij tiene el número de transiciones a lo largo de la canción del grado correspondiente en la fila i el grado correspondiente en la columna j. Para construir la matriz de transición de la secuencia anterior, primero vamos a contar el número de transiciones que existen de un grado a otro.

· IV a I: 3 transiciones.
· I a III: 2 transiciones.
· III a VI: 2 transiciones.
· VI a IV: 2 transiciones.
· I a V: 1 transición.
· V a VI: 1 transición.

Con esta información podemos crear la matriz de transición armónica de la secuencia de acordes anterior, es decir:

	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	0	0	2	0	1	0	0
II	0	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0	2	0
IV	3	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	1	0
VI	0	0	0	2	0	0	0
VII	0	0	0	0	0	0	0

cuya normalización por filas, utilizando la norma 1, es:

	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	0	0	2/3	0	1/3	0	0
II	0	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0	1	0
IV	1	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	1	0
VI	0	0	0	1	0	0	0
VII	0	0	0	0	0	0	0

dando como resultado una matriz no negativa y con la característica de que en las filas no nulas, la suma de sus elementos es 1. A esta matriz se le conoce como matriz de transición de la progresión armónica correspondiente y la información que nos da es la probabilidad de las transiciones de un grado fijo a otro, por ejemplo, para los acordes que fungen como grado I, 2/3 de las veces transita al grado III y 1/3 al grado V.

Es así como, dada una canción y su progresión de acordes, podemos asociarles una matriz de transición.

Dado que estamos analizando las tonalidades de las canciones como si fueran mayores, estamos dejando de lado transiciones de grados que son propias de las tonalidades menores así que, estos grados que naturalmente no aparecen en una tonalidad mayor, se agregaran a la matriz de transición. Esto mismo ocurrirá con los acordes de paso, es decir, aquellos que no son ningún grado de la tonalidad pero que forman parte de las transiciones armónicas de una canción. De esta manera, el tamaño de la matriz de transición de una canción excederá a 7 tanto como acordes extraordinarios tengamos.

El total de canciones que la estación de radio Los 40 principales, de Madrid, coloca en la posición número 1 varia año con año, por ejemplo, para 1997 se tiene un total de 53 canciones en el número 1, para 2007 se tienen 25 y para 2017 hay 42. Así con la finalidad de uniformizar nuestro estudio, analizamos las primeras 25 canciones que aparecen en la lista de los numero 1 de cada uno de los años antes mencionados. Del total de 75 canciones, se recopilaron 23 casos extraordinarios de acordes por lo que, al incluir los 7 grados mayores, se obtuvo una lista de 30 calidades diferentes a analizar. Así, a cada canción, se le asigna una matriz de 30 × 30, sin importar que, el año al que pertenezca, pudiesen no haberse usado ciertos grados y/o transiciones como parte de la tendencia musical, es decir, sin importar que se tengan filas nulas; lo anterior para efectos de comparación con los otros dos años.

En la tabla 3 se enlistan, en números romanos, las raíces de los acordes considerados, las calidades que se agruparon y un ejemplo de cada acorde si la canción estuviera en la tonalidad de Do. Observemos que hay números romanos que aparecen acompañados de alguno de los símbolos # o #, esto significa que se trata de una alteración cromática del grado (número romano) original.

TABLA 3
Tipos de acordes considerados en este estudio.

Grado	Calidad(es)	Ejemplo con tonalidad de Do
I	M, 7M	C7M
II	m, m7	Dm
III	m, m7	Em7
IV	M, 7M	F
V	M, 7	G7
VI	m, m7	Am7
VII	o	B^o
I	7	C7
I	m	Cm
I	o	C^o
I♯	M, 7	C♯7
I♯	m, m7	C♯m
II	M, 7, 7M	D7
III♭	M	E♭
III♭	m, m7	E♭m7
III♭	o	E♭^{o}
III	M, 7	E7
IV	m, m7	Fm
IV	o	F^o
V♭	M, 7	G♭7
V♭	m, m7	G♭m7
V♭	o	G♭^{o}
V	m, m7	Gm
V	7M	G7M
V♯	M, 7	G♯
V♯	o	G♯^{o}
VI	M, 7, 7M	A7M
VII♭	M, 7	B♭7
VII	M, 7	B7
VII	m, m7	Bm

3.1. Matriz del año 1997

Para este año analizamos 25 canciones, de cada una se obtuvo la tonalidad por secciones y con ello se calculó su respectiva matriz de transición armónica. Las canciones analizadas están en la tabla 4 y fueron seleccionadas de la lista de Los 40 principales (los 40, 1997).

Así dada la i-esima canción, le calculamos su matriz de transición, a la cual denotaremos por Ti, de tamaño 30× 30, con entradas no negativas, y cuyas filas no nulas son estocásticas, es decir, la suma de sus elementos es 1. Si sumamos todas las entradas de Ti obtenemos el número de acordes usados, tomados con respecto a la posición que guardan con la tonalidad a la que pertenece en ese momento, esto pasa siempre que el ultimo acorde de dicha sección de la tonalidad no sea un acorde que aparezca por primera vez; esta será nuestra suposición general. En otro caso, la suma de las entradas daría el número

TABLA 4
Canciones de 1997.

Título	Intérprete
1. La aurora	Eros Romazzotti
2. Mi enfermedad	Los Rodriguez
3. Cuando los sapos bailen flamenco	Ella Baila Sola
4. Y sin embargo	Joaquín Sabina
5. Salta!!	Seguridad Social
6. Este mundo va	Miguel Bosé
7. Don't speak	No Doubt
8. Step by step	Whitney Houston
9. Cosmic girl	Jamiroquai
10. Beetlebum	Blur
11. Las cosas que vives	Laura Pausini
12. Say you will be there	Spice Girls
13. Weather with you	Crowded House
14. Don't cry for me Argentina	Madonna
15. Barrel of a gun	Depeche Mode
16. A tu lado	Rosario
17. Discotheque	U2
18. Quit playin' games	Backstreet Boys
19. Say what you want	Texas
20. Your woman	White Town
21. Amores de barra	Ella Baila Sola
22. Sweet Kisses	Squeezer
23. Si si?. O si no	David Summers
24. Moja mi corazón	Marta Sánchez
25. Grande	Paolo Vallesi

de acordes usados, menos 1. También tenemos que las entradas no cero de Ti son las diferentes transiciones que se tuvieron a lo largo de la canción i.

Denotamos por P1997 a la matriz promedio de todas las matrices de transición, es decir:

$$P_{1997} = \frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25} T_i$$

Para visualizar mejor los posibles datos truncados, se multiplica por 1000 a la matriz P1997 y el resultado de esta operación se muestra en la tabla 5.

En la matriz 1000P1997 vemos que el número de entradas no cero es 152, esto significa que las 25 canciones analizadas utilizaron un total de 152 transiciones diferentes. También tenemos que

$$\sum_{i=1}^{30}\sum_{j=1}^{30}(P_{1997})_{ij} = 6.9$$

lo que nos indica que, en promedio, cada canción uso 6.9 grados diferentes.

3.2. Matriz del año 2007

Al igual que para la década anterior, para este año analizamos las primeras 25 canciones que aparecen en Los 40 principales, (los 40, 2007). Denotamos por P2007 a la matriz promedio de las matrices de transición y representamos a 1000 # P2007 en la tabla 6.

El número de entradas no cero de 1000 P2007 es 114, mientras que la suma de las entradas de P2007 es

$$\sum_{i=1}^{30}\sum_{j=1}^{30}(P_{2007})_{ij} = 6.1$$

lo cual nos dice que se usaron 114 transiciones diferentes y que, en promedio, cada canción uso 6.1 grados diferentes.

3.3. Matriz del año 2017

Finalmente, en este año también analizamos las primeras 25 canciones, de los número 1 del año 2017, que aparecen en Los 40 principales, (los 40, 2017). De manera análoga, al promedio de las matrices de transición la denotamos por P2017 y representamos a 1000P2017 en la tabla 7.

Vemos que el número de entradas no cero de 1000P2017 es de 43 y que la suma de todas las entradas de P2017 es

$$\sum_{i=1}^{30}\sum_{j=1}^{30}(P_{2017})_{ij} = 4.7$$

esto es, se usan 43 transiciones diferentes y, en promedio, cada canción usa 4.7 grados.

TABLA 5

Matriz que representa a 1000P1997.

0	60.6	14.6	218.7	148.1	135.4	0	1	0	0	0	0	7.7	5.4	0	0	2.1	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	25.4	46.5	4	2.5
134.1	0	2.3	42.6	254.2	46.6	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	42.8	0	0	0	0	0	28.6	0	0	0	0	42.8	0	0
65.8	77.9	0	137.7	8	60.6	0	0	0	0	0	0	12.4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	77.3	0	0	0
209.4	101.4	9.2	0	330.2	30.7	0	0	1.3	0	0	0	5.3	1.9	0	0	46.7	0	0	0	0	3.6	13.3	0	76.0	0	0	10.5	0	0
193.2	84.5	22.1	45.5	25.5	219.6	0	0	1	0	0	0	26.2	4	0	0	9.1	0	0	0	1.6	0	7.6	0	5.5	0	17.7	95.5	0	4.7
121.3	75.7	75.0	229.8	94.0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	13.9	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
0	2	4	4	83.5	0	0	0	0	0	0	0	13.3	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.0	0	0	33.3
2	4	0	57.1	37.5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	11.4	0	0	0	0	4	0	0	11.4	0	0	0	0	2.5	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	45.8	6	1.8	4.4	177.3	0	0	0	0	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4	0	0	0	0	0	0	2	0	0
0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
8	0	8	0	8	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.8	4	0	22.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	54.0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41.8	61.8	0	0	44.4	1.8	0	0	0	0	0	0	33.7	0	0	0	0	0	0	0	8.8	0	52.7	0	0	0	8	9.8	0	16.8
88.6	1.3	1.2	77.6	53.6	14.5	0	0	27.8	0	0	0	0	35.1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	5	0	0	0
0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	30.4	0	65.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	6.6	11.4	0	0	0	0	0	5.7	0	0	0

TABLA 6

Matriz que representa a 1000P2007.

0	28.7	38.1	115.5	483.8	159.3	0	0	1.6	4	0	0	17.9	36.3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.7	18.6	2.1	0
41.3	0	0	170.6	203.5	66.8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	29.7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	0
29.5	29.8	0	57.7	83.8	195.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.4	0	0	0
393.5	11.9	21.0	0	334.4	121.4	0	0	0	0	0	0	3.6	0	0	0	1	5.7	0	0	0	0	18.1	0	0	0	0	0	0	0
296.4	56.4	34.2	208.0	0	319.8	0	0	0	0	0	0	11.6	11.8	0	0	6.9	0	2.8	0	0	0	0	5.7	0	5.7	15.3	0	2	0
173.0	86.9	46.2	226.6	162.5	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42.6	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	7.2	2.3	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.3	0	0	33.3	4	53.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
0	0	0	11.5	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3.3	0	0	13.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.3	0	0	0	0	0	0
5	12.4	0	25.4	0	129.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
4	0	0	0	3	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.3	0	0	0	0	0	0	0	0	13.3	0	0	13.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34.7	38.5	10.9	3	57.0	9.4	0	0	0	0	0	0	3.6	0	0	0	0	0	5.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLA 7
Matriz que representa a 1000P2017

$$
\begin{bmatrix}
0 & 8 & 61.6 & 110.4 & 342.1 & 237.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.2 & 0 & 0 & 0 & 7.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
162.3 & 0 & 74.7 & 106.6 & 91.4 & 120.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
35.9 & 43.6 & 0 & 120.4 & 1 & 184.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
324.7 & 184.9 & 8.5 & 0 & 204.6 & 109.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.7 & 0 & 0 & 0 & 2.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
161.5 & 61.4 & 45.1 & 128.7 & 9.4 & 390.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
32.7 & 191.2 & 95.5 & 366.4 & 234.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}
$$

4. Resultados

En la tabla 8 presentamos los resultados obtenidos.

TABLA 8
Comparación de las matrices.

	Transiciones	Promedio de grados
P_{1997}	152	6.9
P_{2007}	114	6.1
P_{2017}	43	4.7

Los resultados obtenidos nos indican que con el tiempo el uso de las transiciones “raras” disminuyo, así como el promedio de los grados en cada canción, es decir, hay una tendencia armónica a la música “simple”.

Para mostrar gráficamente los datos obtenidos en las matrices P1997, P2007 y P2017, asociamos a cada entrada de estas matrices (con valor entre 0 y 1) una escala de gris y así generamos una imagen por matriz (figura 1).

Las entradas de la matriz P1997 por ejemplo se pueden ver en una clase de pixeles en escala de grises, donde negro representa el valor 1 y blanco el valor de 0, y en gris los valores intermedios. Así que en P1997 (figura 1(a)) se ven más pixeles grises que en P2017 (figura 1(c)), de hecho, la tendencia es que bajan los pixeles grises.

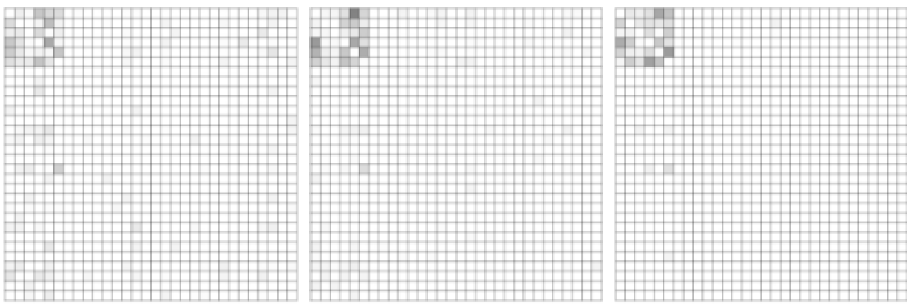

FIGURA 1
Representación gráfica de las matrices P1997, P2007 y P2017.
(a) Figura asociada a P1997 (b) Figura asociada a P2007 (c) Figura asociada a P2017

5. Conclusiones

La correspondencia entre las canciones y sus matrices de transición nos permitió, en cierta forma, visualizar los movimientos armónicos de las canciones de un modo objetivo. Al tener un conjunto de canciones se trató de ver el comportamiento global tomando el promedio de dichas matrices y, con ello, hacer una comparación a su vez entre varios conjuntos de canciones.

Una de las aplicaciones futuras es el medir la similitud entre dos canciones dadas, tan solo al comparar sus matrices de transición. Esto puede ser un criterio útil al momento de detectar plagios. Se podría también asignar, dado un artista musical, el promedio de las matrices de transición de sus canciones, y con esto dar un criterio para decidir si dos artistas tienen estilos parecidos.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Gustavo Rafael Castro Ortigoza de la Facultad de Música de la Universidad Veracruzana, por su apoyo y observaciones para entender los conceptos relativos a la música.

Referencias

Kiefer, P., Riehl, M., 2016. Markov chains of chord progressions. Ball State Undergraduate Mathematics Exchange 10 (1), 16–21.

los 40, 1997. urlhttp://los40.com/lista40/numeros1/1997.

los 40, 2007. urlhttp://los40.com/lista40/numeros1/2007.

los 40, 2017. urlhttp://los40.com/lista40/numeros1/2017.

Mas Devesa, M., 2013. Apuntes de armonía.

Moncada García, F., 1966. La más sencilla, útil y práctica teoría de la música. Ediciones Framong: Musical Iberoamericana, México.

Piston, W., 1998. Armonía. SpanPress Universitaria, España.

Tymoczko, D., 2011. A geometry of music. Oxford Studies in Music Theory. Oxford University Press, Oxford, harmony and counterpoint in the extended common practice.