

Análisis filogenético del compás flamenco

José-Miguel Díaz-Báñez^{*} Giovanna Farigu^{**} Francisco Gómez^{***} David Rappaport^{****}
Godfried T. Toussaint^{*****}

Una versión extendida de este trabajo aparece en las actas de *BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, en Southwestern College, Kansas, USA; congreso que se celebró entre el 30 de julio y el 1 de agosto de 2004.

Resumen

Una caracterización internacional del flamenco es la ejecución de los ritmos de palmas en los que el metro musical subyacente se manifiesta a través de palmas acentuadas. En este trabajo presentamos un análisis filogenético de los cinco patrones rítmicos en compás de 12/8 del flamenco usando dos distancias de comparación: la *distancia cronotónica* de Gustafson y una nueva distancia, la distancia de *permutación dirigida*. Los resultados obtenidos en nuestro estudio avalan varios principios musicológicos que ya han sido propuestos en otros trabajos de investigación. Por ejemplo, el fandango y la soleá son “centros” de esta familia de patrones rítmicos. Por otra parte, el uso de la distancia cronotónica da como resultado la fuerte y consabida influencia afro-cubana en la guajira, lo cual indica la conveniencia de esta distancia en la investigación sobre evolución de ritmos. Finalmente, usando la distancia de permutación dirigida podemos extraer un interesante ritmo “ancestral”.

1. Introduction

Una de las características más definitorias del flamenco es precisamente la rigidez en cuanto al ajuste al compás de cada palo. Es condición necesaria para todo intérprete de este arte conocer a la perfección el compás del estilo que ejecuta. En efecto, entre los comentarios del público que más desearía un artista podríamos citar “...tiene mucho compás...” o “...dice muy bien el cante...” o “...marca muy bien el compás”, que indican, precisamente, la ejecución de un palo ajustándose al correcto patrón rítmico.

El flamenco usa predominantemente el compás de 12/8. La manera de usarlo es tocar todas las corcheas, pero acentuar unas cuantas, las cuales dan lugar al patrón rítmico. Existen estilos flamencos que usan compases binarios de 2/4 y 4/4. Estos incluyen el tango y sus variantes tales como el tanguillo, la rumba, la farruca, el garrotín, la zambrá y la mariana [8]. Todos esos estilos binarios usan un mismo patrón rítmico, a saber, [. x x x], donde “.” indica una palma sorda o suave (silencio) y “x” una palma fuerte (acento). Un método bastante popular para representar los ritmos de palmas en el flamenco es el de usar números para indicar las corcheas (o pulsos) con los acentos en letra negrita [13]. Usando esta notación, el patrón anterior se escribiría como [1 **2 3 4**].

^{*}Departamento de Matemática Aplicada II, Universidad de Sevilla. dbanez@us.es

^{**}Concertista de piano, Real Escuela Profesional de Danza de Madrid. giovanna.f@wanadoo.es

^{***}Departamento de Matemática Aplicada, Universidad Politécnica de Madrid. fmartin@eui.upm.es

^{****}School of Computing, Queen’s University. daver@cs.queensu.ca

^{*****}School of Computer Science, McGill University. godfried@cs.mcgill.ca

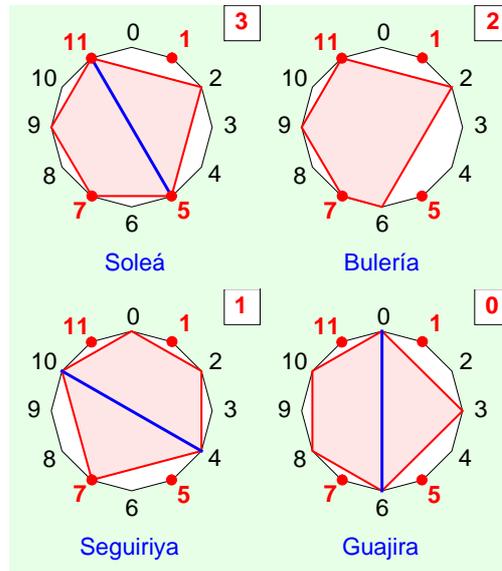


Figura 1: Los cuatro compases aperiódicos ternarios del flamenco.

Este trabajo trata sobre los ritmos en compás 12/8, que, debido a su variedad y riqueza, permiten un jugoso estudio comparativo. El compás se define como *pulsación que regula el tiempo de la ejecución musical a base de divisiones pre-establecidas* y con frecuencia se confunde con *ritmo* [21]. No es objeto de este artículo hablar de términos musicales y en un diccionario de música puede consultarse las definiciones exactas de ambos pero, en líneas generales, podríamos decir que el ritmo es una división del tiempo a través de acentos mientras que el compás se refiere a un ritmo regular. De esta forma, todo compás es un ritmo pero no todo ritmo es un compás. Debemos advertir que aquí el término compás se usa como metro musical y patrón rítmico indistintamente.

Uno de los estudios musicológicos pioneros, pero no exhaustivos, sobre el flamenco se encuentra en el libro de Hipólito Rossy [17], publicado en 1966. Otro más reciente y profundo es Keyser [13]. También es de destacar el trabajo de Nan Mercader [15]. Consideraremos aquí una clasificación más actual, como la propuesta por Gamboa [8]. Entre los ritmos ternarios están: uno periódico y cuatro aperiódicos.

El patrón rítmico del fandango consiste en $[x \dots x \dots x \dots x \dots]$. Este ritmo es periódico y repite el patrón $[x \dots]$ cuatro veces. Además de éste, hay cuatro ritmos aperiódicos en compás 12/8 (véanse [14], [15], [16]). Éstos son los siguientes:

- $[\dots x \dots x \dots x \dots x]$ - *soleá*
- $[\dots x \dots x \dots x \dots x]$ - *bulería*
- $[x \dots x \dots x \dots x \dots]$ - *seguiriyá*
- $[x \dots x \dots x \dots x \dots]$ - *guajira*

Los cuatro ritmos están representados como polígonos convexos en la figura 1, donde “0” marca la posición en el tiempo en la cual el ritmo empieza. Nótese que esto puede diferir de la posición que se usa para dar la entrada a los bailaores. En este punto hay que decir un par de palabras sobre

los nombres que hemos puesto a estos ritmos. La soleá y la bulería se usan en una gran variedad de estilos flamencos. A lo que aquí nos referimos como soleá se llama en ocasiones bulería tradicional y a lo que llamamos bulería a veces se encuentra designado como bulería moderna. El ritmo de la guajira se usa también en la petenera y el de la seguiriya en serranas y livianas. Como ya se ha comentado, estos nombres se han tomado de acuerdo a la obra de Gamboa [8].

La técnica que aquí se propone para indagar sobre la evolución de los ritmos flamencos ha sido utilizada en *Bioinformática*, donde la lectura y comparación eficiente de los datos genéticos de los individuos resulta crucial para estudiar el origen y desarrollo evolutivo de las especies, lo que se lleva a cabo en base al análisis del parentesco [7, 12]. Es precisamente la *Filogenia* la parte de la Biología que se ocupa de tal estudio; por ello, el proceso de analizar las relaciones de parentesco para un conjunto de datos de similaridad, se denomina *análisis filogenético*. En efecto, si desnudamos la música flamenca prescindiendo de letra, armonía y melodía, tendríamos el componente rítmico, cuyo patrón es precisamente el compás. Usando esta analogía, es posible que sea el compás el que contenga la información genética de los distintos estilos del flamenco.

2. Medidas de similaridad rítmica

Para llevar a cabo el análisis filogenético de los ritmos flamencos primero calculamos la distancia (o disimilaridad) entre cada par de ritmos. Aquí hemos utilizado dos distancias: la distancia cronotónica y la distancia de permutación dirigida. La representación cronotónica de un ritmo fue propuesta por primera vez en 1987 por Kjell Gustafson en el Laboratorio de Fonética de la Universidad de Oxford con el propósito de representar el ritmo del habla [9], [10]. Fue redescubierto más tarde por Hofmann-Engl [11], quien lo propuso para calcular distancias entre ritmos, y cuyos experimentos psicológicos demostraron que esta distancia coincide con la percepción humana de la similaridad rítmica. La distancia de permutación dirigida es una generalización de la distancia de permutación, más simple y limitada ésta, y que se usa en [18] para comparar ritmos con la restricción de tener el mismo número de notas y de tiempos (pulsos). Un reciente estudio comparativo [19] de varias distancias sugiere que las distancias cronotónicas y de permutación son mejores para el análisis de ritmos.

2.1. La distancia cronotónica

La idea de Gustafson (propuesta por primera vez en 1983) se explica mejor con un ejemplo. Consideremos el ritmo de la seguiriya que está dado por $[x \cdot x \cdot x \cdot \cdot x \cdot \cdot x \cdot]$. En esta representación las duraciones relativas de los intervalos de tiempo no se pueden observar fácilmente. En una visualización de ritmos vía *histogramas* los sucesos importantes (tales como el comienzo, el final y el ataque de las notas) se dibujan a lo largo del eje y [10], lo que da como resultado el *espectro de intervalos adyacentes* del ritmo. En dicha representación la longitud relativa de los intervalos es claramente visible, pero se pierde la información temporal a lo largo del eje x . Para obtener una representación gráfica que posea las ventajas de ambos métodos, Gustafson usa el tiempo en ambas dimensiones. El resultado de esa unión se ilustra en la figura 2, que muestra los cinco patrones rítmicos del flamenco en notación cronotónica. Cada elemento temporal entre sucesos (intervalos) es ahora una caja y ambos ejes y y x representan la longitud temporal del intervalo. Gustafson se refiere a esta representación como elementos temporales representados como cuadrados o TEDAS (*Temporal Elements Displayed As Squares*, en las siglas originales en inglés). Las uniones de los cuadrados representadas en la figura 2 se pueden ver como funciones rectilíneas monótonas del tiempo.

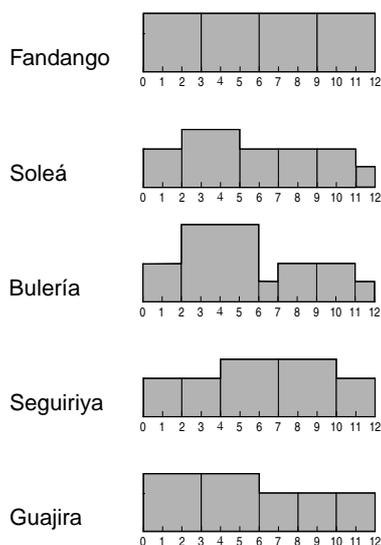


Figura 2: La representación cronotónica de los ritmos flamencos.

Dada la representación cronotónica de dos ritmos, hay un gran número de formas de medir la disimilaridad. En [19] la disimilaridad se mide por el área que queda entre ambas curvas. Utilizaremos esa medida aquí y nos referiremos a ella por el nombre dado en [19], la distancia cronotónica. Los resultados de distancias obtenida con esa distancia se muestra en la figura 3.

2.2. La distancia de permutación dirigida

Puesto que la distancia de permutación dirigida se reduce a la distancia de permutación cuando el número de notas es el mismo, primero describiremos esta última, por ser más simple, y después su modificación. Una permutación es un intercambio de un “1” y un “0” que son adyacentes en una cadena binaria. En nuestro caso, corresponde a intercambiar un acento (x) con un silencio (.). Intercambiar la posición de elementos en cadenas de números es una operación fundamental en los métodos de ordenación [3]. La distancia de permutación entre dos ritmos es el *mínimo* número de permutaciones que se necesitan para convertir un ritmo en el otro. Por ejemplo, el ritmo $[x . x . x x . x . x . x]$ puede convertirse en el ritmo $[x . x x . x x . x . x .]$ con un mínimo de cuatro permutaciones, a saber, intercambiando la tercera, la quinta, la sexta y la séptima nota con los correspondientes silencios que van detrás de ellos.

La distancia de permutación dirigida es una generalización de la distancia de permutación pensada para tratar la comparación de ritmos que no tienen el mismo número de notas. En nuestro estudio aquí un ritmo flamenco, el fandango, tiene cuatro notas en lugar de cinco y, si queremos “compararlo” con los demás, se hace necesario ampliar la definición de distancia de permutación. Consideremos pues, P y Q dos sucesiones binarias de longitud n que representan dos ritmos. Se puede suponer sin pérdida de generalidad que P tiene más “1” que Q . La distancia de permutación dirigida es el mínimo número de permutaciones necesarios para convertir P en Q bajo las siguientes condiciones. Nos referiremos a una posición ocupada por un “1” como una posición ocupada, esto es, un acento (x).

1. Cada “1” de P tiene que moverse a una posición ocupada de Q .

Matriz de Distancias Cronotónicas

	Soleá	Bulería	Seguiriya	Guajira	Fandango
Soleá	0	6	8	4	10
Bulería		0	12	8	14
Seguiriya			0	8	6
Guajira				0	6
Fandango					
Σ	28	40	34	26	36

Figura 3: La matriz de distancias cronotónicas de los cinco ritmos.

Matriz de Distancias de Permutación Dirigida

	Soleá	Bulería	Seguiriya	Guajira	Fandango
Soleá	0	1	11	7	7
Bulería		0	12	8	8
Seguiriya			0	4	4
Guajira				0	2
Fandango					
Σ	26	29	31	21	21

Figura 4: La matriz de la distancia de permutación dirigida para los cinco ritmos..

2. Todas las posiciones ocupadas de Q tienen que recibir al menos un “1” de P .
3. Ningún “1” puede viajar a través de la frontera entre la posición cero y la n -ésima.

Los resultados de distancias con la distancia de permutación dirigida se muestra en la figura 4.

3. Análisis Filogenético

Con objeto de estudiar las posibles relaciones genealógicas entre los distintos compases, utilizaremos una técnica común en *análisis filogenético* que nos ayudará a analizar y visualizar el conjunto de datos obtenidos en el cuadro (matriz) de distancias. Esta técnica de análisis de datos se basa en la generación de los llamados *árboles filogenéticos*, que son estructuras geométricas de interconexión que representan la posible relación entre las distintas especies en estudio. Existen varias técnicas para generar árboles filogenéticos a partir de matrices de distancias. Un ejemplo notable es *Splits-Tree* [7] [12]. Este tipo de representaciones gráficas tienen la propiedad de que la distancia en el dibujo entre dos nodos refleja tanto como es posible la verdadera distancia entre los dos ritmos

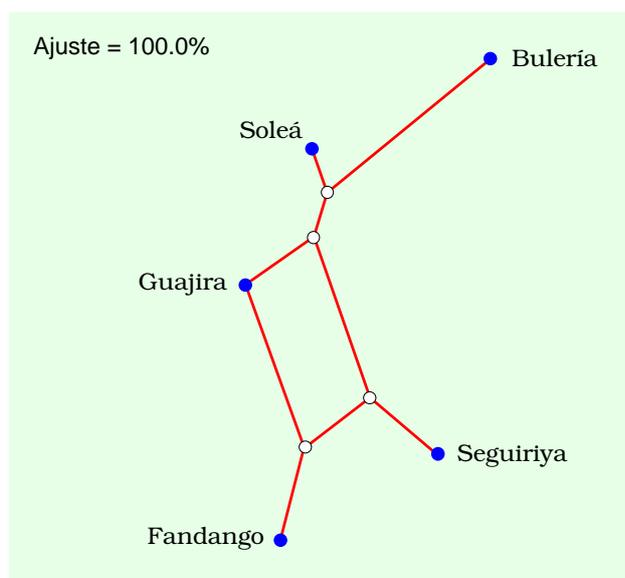


Figura 5: El SplitsTree con la distancia cronotónica.

correspondientes en la matriz de distancias. Para ello, se introducen nuevos nodos, como puede verse por ejemplo en la figura 5, con el objetivo de obtener un mejor ajuste. Tales nodos (que aparecen sin etiqueta) sugieren la existencia de ritmos “ancestrales” de donde su “descendencia” podría haber surgido. Aún más, aparecen cuadros o paralelogramos, que son visibles en las figuras 5 y 6. Los tamaños relativos de estos paralelogramos indican cómo son de significativas las relaciones de agrupamiento en tales grupos de especies. *SplitsTree* también calcula una medida de la bondad del ajuste del árbol. Este ajuste se obtiene dividiendo la suma de todas las distancias aproximadas en el grafo por la suma de todas las distancias originales en la matriz de distancias [7], [12]. Este índice de ajuste se muestra en la esquina superior izquierda de las figuras del SplitsTree.

Algunas observaciones son evidentes a partir de la misma matriz de distancias. En particular, examinemos las filas inferiores de las figuras 3 y 4. Esos números son las sumas de las distancias de un ritmo dado al resto. Un número relativamente pequeño indica que el ritmo es muy similar a los otros, mientras que un número relativamente algo significa que es distinto.

Por ejemplo, el ritmo más similar a los otros es la guajira acorde a la distancia cronotónica, con la soleá en una cercana segunda posición, pero la guajira y el fandango empatan en esta posición cuando tomamos la distancia de permutación dirigida

Los resultados de calcular el SplitsTrees con las matrices de distancias anteriores se muestran en las figuras 5 y 6. Nótese que ambas distancias dan un sorprendente ajuste del 100 %.

Consideremos primero la distancia cronotónica de la figura 5. Sugiere que hay un agrupamiento dividido en tres grupos. Un primer grupo consiste en el fandango y la seguiriya. El segundo grupo consiste en los ritmos de la soleá y la bulería y, por último, la guajira permanece en un tercer y solitario grupo. La solea y la bulería son los únicos que tienen anacrusa, esto es, que no comienza con acento. La bulería es el más diferente a los demás, con una suma de distancias de 40. Es interesante observar que de los cinco ritmos, la bulería es la única que tiene la propiedad de la asimetría rítmica. Esta propiedad también se estudia en [1], [5], [6] y la definimos a continuación.

Un ritmo tiene la propiedad de la *asimetría rítmica* si no contiene dos conjuntos de notas que dividan al ritmo dibujado en un círculo en dos semicírculos (véanse las posibles particiones en dos mitades de los círculos en la figura 1. Esta propiedad es una buena medida de preferencia en los



Figura 6: El SplitsTree con la distancia de permutación dirigida.

ritmos africanos según se indica en [18]. Las diferencias más obvias entre la bulería y el resto de los ritmos es que es el único ritmo que contiene intervalos de longitud 1, 2, 3, y 4. Los otros ritmos sólo tienen intervalos de longitud 2 y 3.

La guajira, considerada como receptora de influencias cubanas [2], [15], es la más similar a las demás con una suma de distancias igual a 26. Es también el único ritmo con 5 notas con un índice de contratiempo de cero. El *índice de contratiempo* de un ritmo se define como el número de notas que posee en las posiciones 1, 5, 7, y 11 [20]. El índice de contratiempo es una medida de preferencia incluso mejor que la asimetría rítmica para los ritmos del África del oeste subsahariana [20]. En la figura 1 el índice de contratiempo de cada ritmo se indica en la esquina superior derecha de cada polígono. El segundo más similar es la soleá, con una suma de distancias de 28 (casi empatada con la guajira). Estos resultados apoyan el principio de que la soleá es uno de los más paradigmáticos y genuinos estilos del flamenco. En palabras de Mercader [15]: “*la soleá es uno de los palos más jondos del flamenco*”. También merece la pena hacer notar que la soleá es muy especial desde el punto de vista geométrico ya que es el ritmo flamenco con el más índice de contratiempo (igual a 3).

El SplitsTree de la figura 6 sugiere un agrupamiento similar al obtenido con la distancia cronotónica, excepto que aquí el fandango y la guajira forman un grupo más pequeño y la seguiriya está sola aparte. El fandango y la guajira tienen cada uno una suma de distancias igual a 21. Este resultado apoya la doctrina común musicológica de que el fandango es la fuente de que la manan todos los ritmos flamencos. En efecto, en los árboles genealógicos que se han construidos el fandango aparece localizado abajo y en el tronco del árbol [4]. Finalmente, merece la pena apuntar que el fandango y la guajira son los únicos ritmos que tienen índice de contratiempo igual a cero.

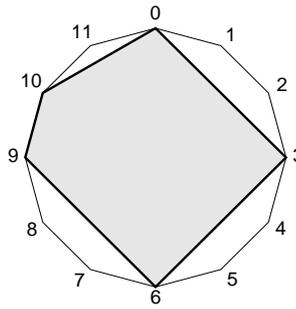


Figura 7: El ritmo “ancestral”.

4. Reconstrucción del ritmo ancestral

Haciendo uso de la distancia de permutación dirigida, se puede obtener un hipotético ritmo ancestral que se encuentre justo en el centro del árbol. No entraremos aquí en el desarrollo técnico de la obtención de tal ritmo. El resultado es el siguiente: $[x \dots x \dots x \dots x \dots x \dots]$ ilustrado en la Figura 7. Dejamos al lector la tarea de identificar dónde se ejecuta dicho patrón rítmico.

5. Algunas conclusiones

El objetivo fundamental de nuestro estudio es proponer labores de investigación musicológicas de los estilos flamencos haciendo uso de las herramientas aquí utilizadas. A continuación, se incluyen algunas interpretaciones de nuestros resultados. El hecho de que la guajira aparezca prácticamente en el centro de los patrones rítmicos ternarios, indica su cercanía o similitud a los demás palos. Esto pudiera interpretarse como la influencia que han ejercido los otros ritmos en el suyo propio, cosa muy lógica en cantes de ida y vuelta. Esto sugiere un estudio etno-musicológico sobre la verdadera influencia de la guajira en los demás y de los demás en ella.

Por otra parte, de los cinco ritmos ternarios, *fandango*, *guajira*, and *soleá* juegan un papel central en el análisis filogenético.

Por otro lado, la distancia de permutación dirigida coloca al ritmo “ancestral” generado (véase la Figura 7) en el centro del árbol, con una suma de distancias igual a 20.

Puesto que la guajira es posterior a los demás palos, resulta de interés hacer un análisis filogenético sacándola del grupo de ritmos. En ese caso, el resultado es que la *soleá* aparece con ritmo central con una suma de distancias de 24 con respecto a los otros tres ritmos. Cuando se usa de distancia de permutación dirigida, aparecen la *soleá* y el *fandango* justo en el centro, con una suma de distancias de 19 para cada uno de ellos.

Referencias

- [1] Simha Arom African Polyphony and Polyrhythm. Cambridge University Press, England, 1991.
- [2] José Blas. *Diccionario flamenco*, Cintero, Madrid, 1985.
- [3] N. G. de Bruijn, Sorting by means of swapping. *Discrete Mathematics*, 9:333-339, 1974.
- [4] D. Manfredi Cano, *Cante y baile flamencos*. Everest, León, 1983.

- [5] Marc Chemillier. Ethnomusicology, ethnomathematics. The logic underlying orally transmitted artistic practices. En G. Assayag, H. G. Feichtinger y J. F. Rodrigues, editores de *Mathematics and Music*, pág. 161-183, Springer-Verlag, 2002.
- [6] Marc Chemillier y Charlotte Truchet. Computation of words satisfying the “rhythmic oddity property” (after Simha Arom’s work). *Information Processing Letters*, 86:255-261, 2003.
- [7] A. Dress, D. Huson y V. Moulton, Analysing and visualizing sequence and distance data using SPLITSTREE. *Discrete Applied Mathematics*, 71:95-109, 1996.
- [8] José Manuel Gamboa, *Cante por cante: discolibro didáctico de flamenco*, New Atlantis Music, Alia Discos, Madrid, 2002.
- [9] Kjell Gustafson, A new method for displaying speech rhythm, with illustrations from some Nordic languages. En K. Gregersen y H. Basboll, editores de *Nordic Prosody IV*, pág. 105-114, Odense University Press, 1987.
- [10] Kjell Gustafson, The graphical representation of rhythm. En (PROPH) *Progress Report from Oxford Phonetics*, volumen 3, pág. 6-26, Universidad de Oxford, 1988.
- [11] Ludger Hofmann-Engl. Rhythmic similarity: A theoretical and empirical approach. En C. Stevens, D. Burnham, G. McPherson, E. Schubert y J. Renwick, editores de *Actas de la Seventh International Conference on Music Perception and Cognition*, pág. 564-567, Sidney, Australia, 2002.
- [12] Daniel H. Huson, SplitsTree: Analyzing and visualizing evolutionary data. *Bioinformatics*, 14:68-73, 1998.
- [13] Jr. Charles H. Keyser, *Introduction to Flamenco: Rhythmic Foundation and Accompaniment*, Santa Bárbara, California, 1993.
- [14] Lola Fernández Marín, El flamenco en las aulas de música: de la transmisión oral a la sistematización de su estudio, *Música y Educación*, 45, abril de 2001.
- [15] Nan Mercader, *La percusión en el flamenco*, Nueva Carisch España, S.L., Madrid, 2001.
- [16] José María Parra, *El compás flamenco de todos los estilos*, Apostrofe, Madrid, 1999.
- [17] Hipólito Rossy, *Teoría del cante jondo*, Punt Groc and Associats, Breda, Barcelona, 1966.
- [18] Godfried T. Toussaint, Classification and phylogenetic analysis of African ternary rhythm timelines. En las actas *BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, pág. 25-36, Granada, julio de 2003.
- [19] Godfried T. Toussaint, A comparison of rhythmic similarity measures. En las actas de *5th International Conference on Music Information Retrieval*, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, pág. 242-245, 2004.
- [20] Godfried T. Toussaint, A mathematical measure of preference in African rhythm. En *Abstracts of Papers Presented to the American Mathematical Society*, volumen 25, pág. 248, Phoenix, Arizona, enero de 2004. American Mathematical Society.
- [21] M. Valls *Diccionario de la Música*, Alianza Editorial, Madrid, 1982.