



## ACTA DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

En Mérida a los diecinueve días del mes junio del año 2008, a las 05:30 a.m., se reunieron los Profesores **ANTONIO PARRAVANO, MARIO COSENZA y ORLANDO ÁLVAREZ (UC)**, miembros del Jurado designado por el Departamento de Física y aprobado por el Consejo de la Facultad de Ciencias, dirigidos por los Profesores **ANTONIO PARRAVANO (TUTOR) y KAY TUCCI (COTUTOR)**, para revisar el Trabajo Especial de Grado que lleva como título:

### “MELODIZACIÓN DE SERIES FINANCIERAS”

Presentado por el Bachiller **OLIVER RAFAEL VIELMA CONTRERAS**, titular de la Cédula de Identidad N° V-15.516.472, para optar por el título de:

### LICENCIADO EN FISICA

en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Acto seguido, se procedió a oír la exposición que sobre el tema, arriba mencionado, realizó el bachiller **VIELMA CONTRERAS**. Después del correspondiente interrogatorio, el Jurado procedió a deliberar sobre el contenido de la misma.

Finalmente el Jurado lo declaró **APROBADO**, con la calificación de **VEINTE (20) PUNTOS Y RECOMENDADO PARA SU PUBLICACIÓN**.

En fe de lo cual firman:

Prof. Antonio Parravano  
Tutor

Prof. Mario Cosenza  
Jurado



Prof. Orlando Álvarez  
Jurado



**COORDINACIÓN DOCENTE**  
Departamento de Física

# Melodización de Series Financieras

por

Br. Oliver Vielma

Trabajo de grado presentado ante la ilustre  
Universidad de Los Andes  
como requisito parcial para optar al Título de:

Licenciado en Física

Junio 2008

.....  
Dr. Antonio Parravano  
Profesor Titular  
Tutor de tesis

.....  
Dr. Kay Tucci  
Profesor Titular  
Cotutor de tesis

# Melodización de Series Financieras

por

Br. Oliver Vielma

Presentado ante la ilustre Universidad de Los Andes  
en Junio 19, 2008, en requerimiento parcial para optar al Título  
de  
Licenciado en Física

## Resumen

En esta tesis se desarrolló un método determinista que hemos denominado “melodización de series temporales”, que traduce unívocamente una secuencia de datos numéricos de una serie temporal en una secuencia de sonidos. El procedimiento se basa en la analogía que establecemos en este trabajo entre la distribución de ocurrencias de patrones en la serie temporal y la correspondiente distribución de notas en una composición musical. Ambas distribuciones obedecen a una ley de Zipf generalizada, de lo cual nos servimos para establecer la analogía y caracterizar las series. Este procedimiento se aplicó para melodizar las series financieras del Dow Jones Industrial Average in ( $\hat{DJI}$ ), Nasdaq Composite ( $\hat{IXIC}$ ), S&P 500 index ( $\hat{GSPC}$ ) (Norte Americanas) y series financieras del Hang Seng Index ( $\hat{HSI}$ ) y Straits Times Index ( $\hat{STI}$ ), (Singapur). Una vez que se establece el tipo de patrones a codificar, las series financieras se recodifican y se caracteriza a través del tamaño del léxico (número de patrones diferentes en la serie) y el exponente de Zipf. De manera analoga, se crea una biblioteca de 217 composiciones para piano que exhiben una variedad de tamaños de léxico (número de notas diferentes en la composición) y exponentes de Zipf. Para melodizar una serie se escoge de la biblioteca la composición que posee los parámetros más parecidos a los de la serie. Finalmente, la serie es ejecutada como una secuencia de notas. Esta técnica ofrece una nueva alternativa para el análisis de series temporales al permitir utilizar el sistema auditivo en contraste a los métodos tradicionales en los que la información se presenta en forma visual.

Palabras claves: Series temporales; Ley de Zipf, Sonificación, Música; Series financieras.

Tutor de Tesis: Dr. Antonio Parravano  
Cargo: Profesor Titular

Cotutor de Tesis: Dr. Kay Tucci  
Cargo: Profesor Titular

# Índice general

<b>1. Sonificación</b>	<b>10</b>
1.1. Tipos de sonificación . . . . .	10
<b>2. Caracterización de la distribución de patrones en una secuencia de eventos</b>	<b>15</b>
2.1. Ley de Zipf en obras literarias . . . . .	16
2.1.1. Ley de Zipf generalizada . . . . .	18
2.2. Ley de Zipf en obras musicales . . . . .	19
<b>3. Melodización de series temporales</b>	<b>25</b>
3.1. Análisis de una secuencia de eventos a través de elementos básicos . .	25
3.2. Elementos básicos de una serie de tiempo . . . . .	26
3.2.1. Definiendo patrones de una serie de tiempo . . . . .	28
<b>4. Melodización de series financieras</b>	<b>30</b>
4.1. Escogencia de la composición musical en MIDI más afín a la serie . . . . .	34
4.2. Construyendo la melodía financiera . . . . .	35
<b>5. Melodización de una serie aleatoria</b>	<b>40</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>44</b>

## **Dedicado a:**

Todo aquel que invierta una fracción de su tiempo en leer estas líneas para elaborar nuevas tesis.

# Agradecimientos

Esta tesis representa la culminación de un recorrido por una licenciatura que se adentro en las distintas escalas de los sistemas conformados por polvo cósmico, durante el recorrido de la licenciatura encontré una serie de personalidades a las cuales agradezco el haber contribuido a que a esta humilde fracción de polvo cósmico comprendiera esos sistemas. En la escala macroscópica agradezco al profesor Marcos Rodríguez por sus innumerables explicaciones y consejos durante la carrera y por sus inolvidables y extasiantes clases que tallaron mi intelecto y razonamiento. Vicente Sagrado por sus clases llenas de un gran orden y elegancia y por enseñarme a organizar las ideas para comunicarlas. Adel Khoudeir por dar sus clases con desbordante pasión que se contagia y motiva, su pasión parece ser una cantidad invariante en el tiempo, mostrando así que la energía que imprime en cada clase se conserva. Adentrándome hacia las escalas más pequeñas encontré al gigante Nelson Pantoja de un léxico, metodología y organización impresionante para explicar sus clases sin dejar lugar a dudas e imprimiendo en mi un sentimiento de admiración y agradecimiento. En el mundo de la electrodinámica clásica agradezco al profesor Mario Cosenza por compartir con nosotros sus alumnos su inigualable capacidad para explicar cualquier fenómeno por más complejo que fuese de una forma simple, inteligible y prácticamente imposible de no comprender, además por su infinita comprensión con todos sus estudiantes. Intercambiando parámetros culturales con Juan Carlos González me mostró un vector publicidad que apuntaba hacia Mario Cosenza, así que agradezco a Juan Carlos por su inspirador vector publicidad. Luego encontré el punto crítico en Mario Cosenza que se convirtió en la bifurcación que guió mi trayectoria para adquirir conocimiento de Kay Tucci y Javier González a quien también agradezco el haberme regalado un libro que se convirtió en la herramienta que me permitió recorrer el camino de los sistemas complejos con mayor facilidad. A mis dos tutores Kay Tucci y Antonio Parravano. Kay Tucci me llevó a otro nivel de programación y además aprendí mucho sobre su forma de plantear algoritmos que llevan de manera intrínseca a una ejecución de mínima acción. Sin el profesor Kay Tucci llevar a cabo esta aventura hubiese sido

impensable así que le estoy inmensamente agradecido. Antonio Parravano es el genio creador, el aventurero que ideó explorar estos caminos no muy frecuentados por la ciencia tradicional con Parravano he aprendido tanto que para detallarlo tendría que hacer una tesis sobre el aprendizaje y es que aun me encuentro aprendiendo cosas de este gigante como a determinar cuales son los detalles relevantes para no ser redundante, ser más crítico, moderar mi escepticismo y quisiera aprender a concentrarme tan eficazmente como he observado que el lo hace. Yo sólo soy la herramienta que ha materializado un sueño de este gigante.

Este recorrido por las distintas escalas de la naturaleza lo he realizado siempre acompañado de Juliana De Castro, con quien he tenido la dicha y fortuna de compartir aproximadamente el 25 % del tiempo que llevo existiendo. Gracias por compartir conmigo tú gran capacidad para elaborar y aportarme nuevas ideas que me han nutrido tanto durante la carrera como en esta tesis.

En fin todos ustedes han contribuido para que yo sea cada vez mejor en lo que me gusta hacer, "descubrir y describir".

# Introducción

Nuestra insaciable curiosidad nos lleva a describir nuestro entorno y los cambios del mismo que percibimos a través de nuestros sentidos. Cuando nuestros sentidos son insuficientes para percibir, recurrimos a métodos que nos permitan transformar la información para que nuestros sentidos puedan acceder a ella.

Por ejemplo, con nuestros sentidos podemos percibir los cambios que ocurren en una pequeña fracción del espectro electromagnético. Para ampliar nuestra capacidad de percepción sobre dicho espectro recurrimos a instrumentos que de alguna forma transforman la información para que podamos percibirla generalmente con el sentido de la vista.

En este trabajo de tesis mostraremos como hemos procedido para experimentar otro enfoque a la hora de transformar la información. Hablamos de transformar información no por que nuestros sentidos estén limitados para percibirla sino por la conveniencia de analizar la información con uno de nuestros sentido en vez de otro. En nuestro caso particular transformaremos la información de algunas series de tiempo, que generalmente se analizan por medio de representaciones gráficas, para percibir las con el oído. El sentido de la vista ha evolucionado para detectar principalmente patrones espaciales, mientras que el sentido del oído permite interpretar principalmente patrones temporales; sin embargo, las series temporales suelen ser analizadas por medio de sus representaciones gráficas. Por esto, es razonable pensar que puedan existir ventajas al usar el sentido del oído para interpretar la información en series temporales. En la actualidad existen una gran variedad de métodos para transformar la información de series temporales en información que pueda ser interpretada por el oído. Estos métodos se definen como técnicas de Sonificación. En este trabajo hemos desarrollado un nuevo método de sonificación que difiere sustancialmente de los anteriores [6] y [5].

Nuestro método se basa en argumentos estadísticos que permiten establecer una equivalencia entre notas musicales y patrones de la serie financiera. Tanto los patrones en una serie financiera como las notas en una obra musical presentan una frecuencia

de ocurrencia que las caracteriza. Tanto a la distribución de patrones como notas se les puede ajustar una curva dada por una expresión general de la ley de Zipf [1]. Esta expresión general de la ley de Zipf fue obtenida por Zanette y Montmurro [1] utilizando el modelo de Simon. Adicionalmente, Zanette [2] discute la extensión de la noción lingüística de contexto al dominio de la música. En el lenguaje, la regularidad estadística conocida como ley de Zipf (referida a la frecuencia de uso de diferentes palabras) ha sido vinculada cuantitativamente con el proceso de generación de un texto. Zanette muestra que la estadística del uso de notas en composiciones musicales es compatible con las predicciones del modelo de Simon. Este resultado, que afirma objetivamente la afinidad conceptual del contexto en el lenguaje y en la música, se obtiene mediante el análisis automático de la versión digital (archivos MIDI) de varias composiciones. Adicionalmente, Zanette introduce una medida cuantitativa del grado de definición del contexto, la cual se usa para comparar obras tonales y atonales.

Nuestro trabajo se inspira en la suposición de que podrían existir patrones en las series financieras que conforman un mensaje estructurado y revelar que existe una afinidad conceptual en el contexto, entre, series financieras, música y lenguaje. La frecuencia de ocurrencia de los diferentes patrones en una serie financiera puede vincularse a la frecuencia del uso de palabras y notas musicales en la generación de textos y música respectivamente. Por lo tanto, nos interesa identificar los patrones para los cuales la distribución de sus frecuencias de aparición se ajusta a la expresión general de la ley de Zipf. Los patrones en una serie financiera se pueden definir de muchas maneras, pero para que su distribución sea comparable a la de las notas en una obra musical la definición utilizada debe satisfacer ciertas restricciones, como por ejemplo que el número de patrones diferentes sea similar al número de notas.

El valor del exponente de la ley de Zipf permite clasificar las composiciones clásicas de un solo de piano en un rango que va desde las tonales hasta las atonales. Análogamente ajustando la frecuencia de aparición de patrones en la serie financiera a la ley de Zipf podemos caracterizar la serie con este exponente. Una vez determinado el exponente de la serie se puede buscar la composición musical con el exponente que más se aproxima al de la serie de tiempo. Uno de los aportes que se hace en este

trabajo es construir una tabla con los parámetros de la ley de Zipf que caracterizan 217 obras clásicas para piano de 20 compositores. Esta tabla nos permite establecer cierta semejanza de contexto entre la serie financiera y una de las composiciones. Una vez establecida esta semejanza entre los contextos se procede a asociar a cada patrón la nota con la frecuencia de ocurrencia más similar. La sustitución de patrones por notas en la serie financiera da origen a una secuencia de notas similar a una melodía musical. El método empleado impide que las notas musicales se superpongan en el tiempo y por lo tanto la serie financiera es transformada en una melodía pura, de donde se desprende el nombre de esta tesis: “Melodización de series financieras”.

# Capítulo 1

## Sonificación

Según la ICAD, el termino sonificación en una oración describe el uso del sonido (no pronunciado) que transporta información. La sonificación es un proceso mediante el cual se transforman relaciones de datos en relaciones acústicas con la finalidad de facilitar su interpretación. En los últimos años se han desarrollado tecnologías que han permitido ampliar las aplicaciones de la sonificación. Desde el sonidos de las campanas que anuncian la hora, los contadores de partículas Geiger, controles de calidad en fabricación de piezas mecánicas y dispositivos electrónicos, análisis sonoros de ondas electromagnéticas en el espacio, reconocimiento del tipo de comportamiento en el mapa logístico, hasta el intento de predecir erupciones volcánicas.

### 1.1. Tipos de sonificación

J. Keller (2003) clasifica la sonificación en icónica, directa y musical[3].

1. Sonificación icónica: En este tipo de sonificación se utilizan sonidos que están asociados a los datos obtenidos de cierto fenómenos, por ejemplo, si juntamos datos meteorológicos como el área que cubren las nubes, la temperatura, la humedad para calcular la probabilidad de que llueva mañana y luego usando el sonido de la lluvia indicamos cuando se produce una alta probabilidad de que llueva, estamos empleando sonificación icónica.

2. Sonificación directa: En este tipo de sonificación se transforman datos a sonido para escuchar los patrones presentes en los datos. Por ejemplo, datos de ondas electromagnéticas transformados en ondas acústicas. Esta conversión por sonificación directa puede ser tan simple como reescalar las frecuencias para llevarlas al rango acústico.

Por ejemplo, en las páginas de la NASA[5] podemos encontrar una gran variedad de casos de sonificación directa. Uno de ellos se refiere a la detección de ondas de plasma cuando el Voyager 1 visitaba Júpiter por la cara opuesta al sol en 1979. El viento solar fluye alrededor del planeta y confina al campo magnético planetario en una cavidad que llamamos la magnetosfera. La principal fuente de plasma adentro de la magnetosfera de Júpiter proviene de su luna Io, que es volcánicamente activa y libera enormes cantidades de bióxido de azufre en forma de gas. Este material forma un toroide de plasma alrededor del planeta que se separa en dos partes: una que tiene plasma de bajas energías, llamado toroide frío, y otra parte que tiene plasma con energías más altas, llamado el toroide caliente. Mientras el Voyager 1 cruzaba la magnetosfera de Júpiter detecto ondas de plasma. El espectro electromagnético detectado por el Voyager 1 se puede ver en la figura 1-1, la frecuencia de estas ondas se transformó directamente a sonido y se obtuvieron resultados interesantes que se pueden escuchar en el cd adjunto a esta tesis.

3. Sonificación musical:

Este tipo de sonificación se transforman los datos a sonido de una manera musical. Por ejemplo: con ayuda de software por ordenador se superponen los datos de un sismograma en un pentagrama con clave de sol y fa, obteniéndose una melodía al asignar a cada dato una corchea y la altura de cada dato determina el tono.

Un ejemplo de sonificación musical es el que implementó Dušan Kovář[6] al asignar notas musicales a las series de tiempo generadas al iterar un mapa logístico . Los valores que puede tomar el mapa logístico  $x_{t+1} = r(1 - x_t)$ , están en el intervalo  $[0, 1]$ .

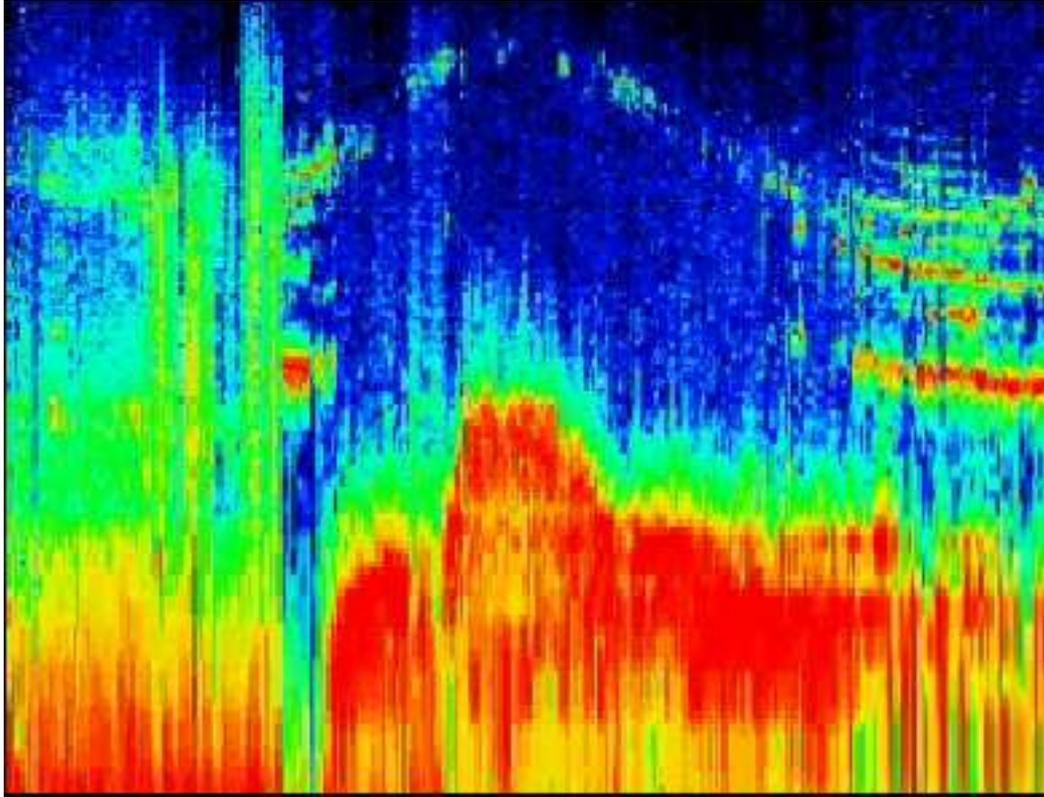


Figura 1-1: Las grabaciones de la nave espacial se representan aquí junto con un gráfico coloreado. Aproximadamente 45 minutos de observaciones que son transformadas y comprimidas a 60 segundos de audio. Los aumentos de la frecuencia se representan en la vertical, y el color se utiliza para indicar la intensidad de la onda, los tonos rojos corresponde a las ondas con mayor intensidad, el azul a las ondas con intensidades mas bajas. El audio generado por la Sonificación se puede apreciar en el archivo “Jupiter\_Plasma.wav”, en el cd adjunto a esta tesis.

i	Intervalo	Nota
1	0.00000 - 0.08333	Do
2	0.08333 - 0.16667	Do#
3	0.16667 - 0.25000	Re
4	0.25000 - 0.33333	Re#
5	0.33333 - 0.41667	Mi
6	0.41667 - 0.50000	Fa
7	0.50000 - 0.58333	Fa#
8	0.58333 - 0.66667	Sol
9	0.66667 - 0.75000	Sol#
10	0.75000 - 0.83333	La
11	0.83333 - 0.91667	La#
12	0.91667 - 1.00000	Si

Cuadro 1.1: Asignación de la nota correspondiente a cada uno de los subintervalo del rango del intervalo  $[0, 1]$  del mapa logístico.

Al dividir el intervalo en 12 subintervalos iguales podemos asignar cada uno de los 12 tonos de la octava central del piano a cada subintervalo, como se muestra en la tabla 1.1.

Al variar el parámetro de control  $r$  del mapa la trayectoria de la serie de tiempo muestra distintos comportamientos para distintos rangos del parámetro de control. A pesar de que el comportamiento puede ser caracterizado al observar el patrón visual, en este ejemplo sencillo se muestra como a través de un oído entrenado también se podrían caracterizar los distintos comportamientos a través de los distintos patrones de sonido que se producen. Para apreciar este ejemplo acceda al archivo: en Windows “mapa\_logistico.exe”, en Linux “mapa\_logistico.html” y en Mac OS “mapa\_logistico.hqx”, en el cd adjunto a esta tesis y aprecie los distintos patrones de sonido que identifican el comportamiento del mapa logístico para ciertos parámetros de control.

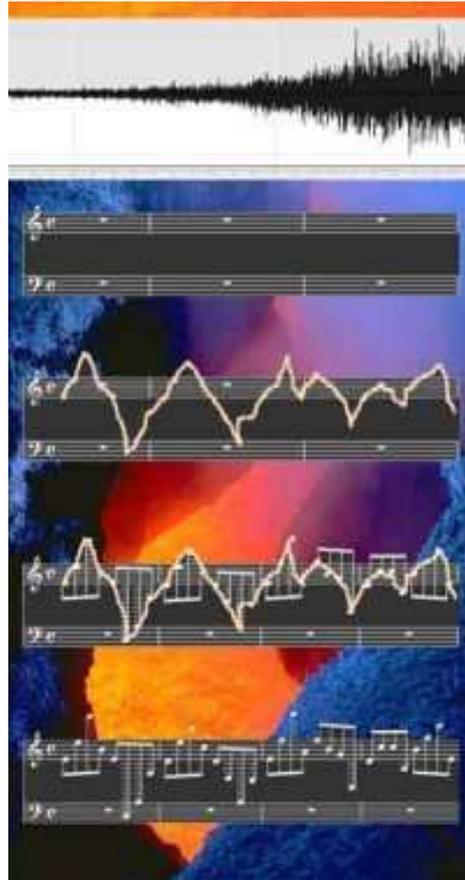


Figura 1-2: se aprecia la serie de pasos con la que se construye la melodía del volcán Etna. En el archivo "volcan.mp3" puede apreciar esta melodía en la que la actividad del volcán se va incrementando.

Otra aplicación de la Sonificación musical se refiere al análisis de sismogramas. Domenico Vicinanza de la universidad de Salerno Italia, utilizó este método para escuchar los sismogramas del volcán Etna. El propósito de su trabajo es intentar reconocer patrones musicales que indiquen que se acerca una erupción. Tomando el sismograma y superponiéndolo en un pentagrama con clave de sol y fa se obtiene una melodía al asignar a cada dato una corchea en duración y un tono proporcional a la amplitud como se muestra en la figura 1-2.

## Capítulo 2

# Caracterización de la distribución de patrones en una secuencia de eventos

Una forma de caracterizar una muestra de eventos es jerarquizándolos en orden decreciente según su abundancia y asignando a cada tipo de evento una jerarquía  $k$  que indica su posición en la clasificación, empezando con  $k = 1$ , para el tipo más frecuente. Así, la ocurrencia  $f_k$  del evento con jerarquía  $k$  presenta una distribución decreciente definida para  $1 \leq k \leq V$ , donde  $V$  es el número de eventos distintos. Este procedimiento puede ser aplicado a cualquier secuencia de eventos, como por ejemplo, una secuencia de notas en una obra musical o una secuencia de palabras en una obra literaria. Para obras literarias y musicales, Zanette [2] encuentra que la distribución  $f_k$  de los datos puede ser ajustada a la ley de Zipf, que no es más que una ley de potencias.

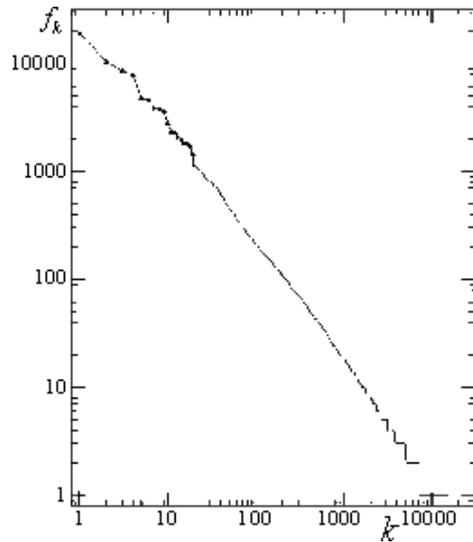


Figura 2-1: análisis de Zipf para la obra Don Quijote. Longitud del texto es de 208886 palabras y un diccionario de 15245 palabras diferentes. El exponente  $z = 1,10$ , A. Parravano (comunicación privada).

## 2.1. Ley de Zipf en obras literarias

La ley de Zipf se puede expresar de la siguiente forma:

$$f_k = \frac{f_1}{k^z}; \quad (2.1)$$

donde  $z$  es el exponente de Zipf. La figura 2-1 muestra la distribución  $f_k$  para las palabras contenidas en los dos tomos de la obra de Cervantes Don Quijote de la Mancha. Como se ve, la distribución  $f_k$  se aproxima bastante bien a una ley de Zipf con exponente  $z \simeq 1$ .

La ley de Zipf (ecuación( 2.1)) también describe adecuadamente la distribución  $P_f$  que cuantifica el número de eventos con frecuencia  $f$ . En este caso la ley de Zipf

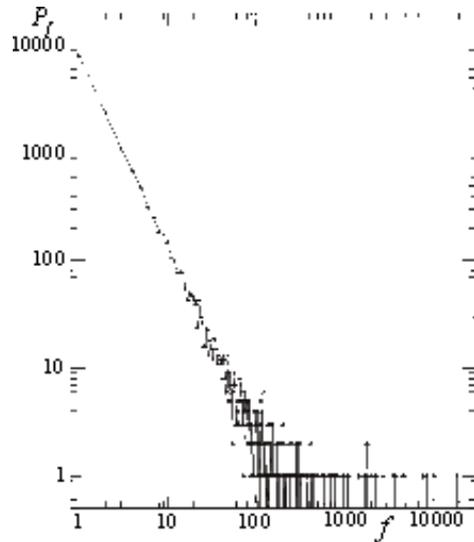


Figura 2-2: análisis de Zipf para la obra Don Quijote. La longitud del texto es de 208886 palabras y un diccionario de 15245 palabra diferentes. El exponente  $\gamma = 1,75$ , A. Parravano (comunicación privada).

tiene la forma

$$P_f = \frac{P_1}{f^\gamma}; \tag{2.2}$$

donde  $\gamma$  es el exponente de Zipf. La figura2-2 muestra la distribución  $P_f$  para las palabras contenidas en El Quijote. Como se observa, la distribución  $P_f$  se ajusta bastante bien a la de Zipf sólo para frecuencias bajas ( $f < 100$ ).

La ley de Zipf describe apropiadamente la distribución de ocurrencia de eventos cuando la muestra de eventos es suficientemente grande, en el sentido que los eventos más infrecuentes logran estar bien representados en la muestra.

### 2.1.1. Ley de Zipf generalizada

La ley de Zipf puede ser generalizada para describir el comportamiento estadístico de muestras con  $T$  eventos y  $V$  tipos distintos de eventos. Basado en el modelo de generación de texto de Simon, Zanette demuestra que la ley de Zipf puede ser generalizada a la expresión

$$f_k = \frac{1}{(a + b(k-1))^z}; \quad (2.3)$$

donde el índice de jerarquía  $k$  va desde 1 hasta  $V$ ,  $a = \frac{1}{f_1^z}$  y  $b = \frac{1-a}{V}$ , siendo  $f_1$  la ocurrencia del evento más frecuente. La razón  $T/V$  cumple la relación

$$\frac{T}{V} = \frac{\nu(f_1^{\nu-1} - 1)}{(1-\nu)(1 - \frac{1}{f_1^\nu})}; \quad (2.4)$$

donde  $\nu = \frac{1}{z}$ .

Para el caso de una obra literaria  $V$  es el número de palabras que son distintas y se denomina tamaño del léxico, mientras que  $T$  es el número total de palabras en la obra o longitud del texto. A medida que se procesa (lee) un texto tanto la longitud  $T$  como el tamaño del léxico  $V$  crecen y la relación entre ellos es  $V \approx T^\nu$  con  $0 < \nu < 1$ . Zanette concluye que un valor de cercano a 1 corresponde a un léxico no uniforme que crece en la misma tasa que la longitud del texto. En este caso se tendría un texto sin estructura [2]. Por lo tanto exponentes pequeños son indicativos de un léxico compacto que determina un contexto robusto, que permanece relativamente estable y bien definido conforme el texto evoluciona.

La figura (2-3) muestra el número de ocurrencias versus el rango  $k$  para la obra David Copperfield de Dickens. En esta obra, hay  $V = 13884$  palabras diferentes y la longitud del texto es  $T = 362892$  palabras. La línea recta muestra que la ley de potencias que se ajusta para valores grandes de  $k$ . La curva punteada es el ajuste a los datos de la ley generalizada de Zipf de la ecuación ( 2.3).

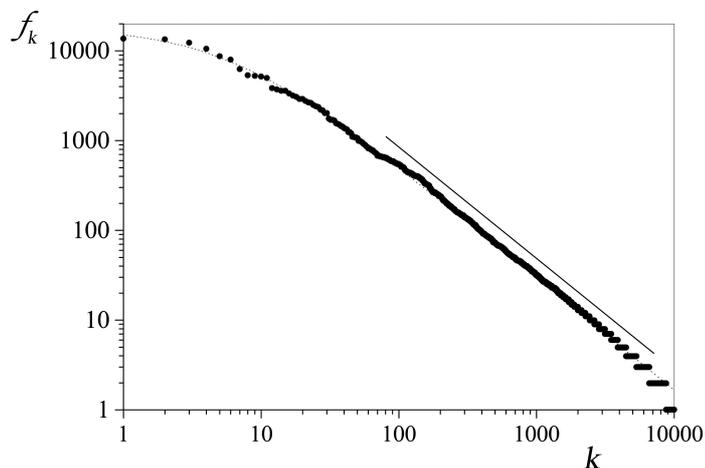


Figura 2-3:

## 2.2. Ley de Zipf en obras musicales

Si pensamos que las notas son para una composición lo que las palabras son para una obra literaria entonces podemos jerarquizar las notas según su abundancia y obtener la distribución  $f_k$  correspondiente. Definiendo una nota como un vector bidimensional  $\mathbf{nota} = [\mathbf{Duración}, \mathbf{Tono}]$  cuyas componentes son su duración y su tono, Zanette clasificó las notas en los archivos MIDI (formato de audio) para determinar la distribución  $f_k$  de un conjunto de composiciones clásicas para piano. Analizando las distribuciones  $f_k$  de estos dos tipos de registros Zanette estableció una analogía entre el tipo de estructura de las obras literarias y los tipos de composición tonal y atonal [2].

En la figura (2-4) se ven cuatro distribuciones de  $f_k$  para cuatro composiciones para piano. Se aprecia que en todos los casos la partederecha de las distribuciones no puede ser ajustada a una recta como en el caso de las palabras en El Quijote. Esto se debe en parte a que el número de notas T y número de notas diferentes

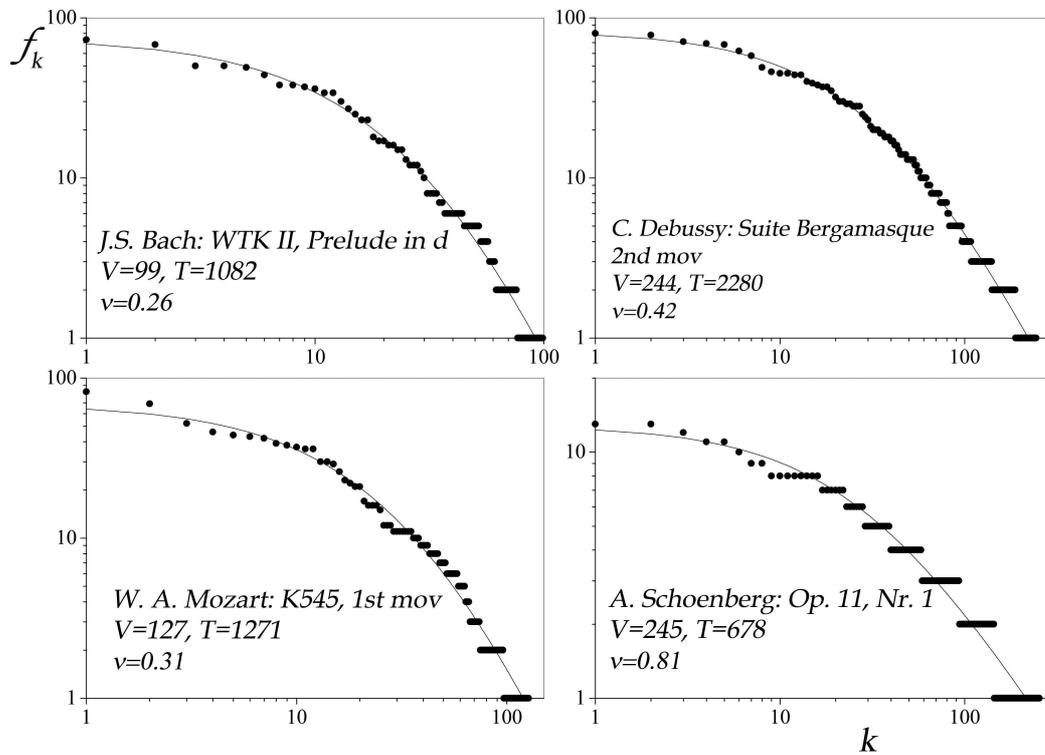


Figura 2-4: Cuatro composiciones de piano donde el exponente  $\nu$  caracteriza que tan tonal o atonal es cada una

$V$  en estas composiciones es pequeño en comparación a la muestra de palabras en un texto. Ajustando la ecuación ( 2.3) a las distribuciones  $f_k$  Zanette clasifica estas composiciones entre tonales y atonales utilizando el exponente  $\nu$  como discriminador, notando que las composiciones tonales exhiben un  $\nu$  pequeño mientras composiciones atonales tienden a tener un  $\nu$  mayor. Determinando el número de notas distintas  $V$ , el número total de notas  $T$  y la mayor ocurrencia  $f_1$  podemos obtener el valor de  $\nu$  para la composición resolviendo numéricamente la ecuación trascendental ( 2.4) para una composición de un solo instrumento. Para obtener los valores  $V$ ,  $T$  y  $f_1$  de una composición contenida en un archivos MIDI de audio se elaboró un programa en Java que

utiliza un paquete de librerías conocido como JMusic (<http://jmusic.ci.qut.edu.au>). Es importante recalcar que para determinar las cantidades  $V$ ,  $T$ , y  $\nu$  hemos considerado en todo momento la definición simple de nota musical, **nota** = [Duración, Tono], tal como se ha mencionado anteriormente en este capítulo.

Para verificar el buen funcionamiento de nuestro programa reprodujimos los resultados obtenidos por Zanette (2004) para las cuatro composiciones en MIDI utilizadas en ese trabajo las cuales se encuentran disponibles en [http://www.geocities.com/benedetto\\_marcello/midi](http://www.geocities.com/benedetto_marcello/midi)

Utilizando nuestro programa analizamos 217 composiciones (archivos MIDI) de 20 compositores de música clásica para solo de piano. La tabla 2.1 muestra los valores de  $V$ ,  $T$ , y  $\nu$  para estas composiciones. Las composiciones están ordenadas en orden creciente de su valor de  $\nu$ , es decir, desde la más tonal a la más atonal. Como se explicará en el siguiente capítulo, esta tabla de composiciones se utiliza para escoger la composición con la distribución más apropiada para melodizar una serie financiera, o cualquier serie temporal.

En este punto es importante recordar que en obras literarias cuando es pequeño el contexto de la obra es robusto mientras que cuando es grande el contexto de la obra tiene a perder sentido. En el siguiente capítulo también mostramos como el parámetro puede caracterizar las series de tiempo y, como en el caso de las obras literarias y musicales, sirve para diferenciar entre distintas series.

Cuadro 2.1: Caracterización de composiciones musicales

N: es el identificador de la composición, $f_1$ : la ocurrencia de la nota que más aparece, $V$ : el numero de notas distintas en la composición, $T$ el numero total de notas en la composición y $\nu$ : el exponente de la expresión 2.3 para el cual se obtiene el mejor ajuste de curva para cada distribución de notas en una composición						
N	$f_1$	V	T	$\nu$	Compositor	Composición
1	32	50	460	0.0010	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838) Nr. 10
2	33	33	434	0.0010	Chopin	Études, Opus 25 (1836) Nr. 3
3	43	152	1760	0.0010	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 8 Molto agitato
4	55	56	730	0.03	Grieg	Lyric Pieces Book I, Opus 12 (1867)NA°
5	79	72	1237	0.031	Chopin	4 Mazurkas, Opus 33 (1838) Nr. 4
6	98	144	2914	0.033	Moszkowski	Étincelles, Opus 36 NA°6
7	28	52	400	0.065	Schumann	Reverie, Opus 15 (1838)
8	57	75	937	0.092	Grieg	Lyric Pieces Book III, Opus 43 (1886)NA°
9	84	246	3840	0.138	Grieg	Lyric Pieces Book VIII, Opus 65 NA°
10	198	94	2634	0.16	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 21 Cantabile
11	24	56	357	0.169	Schumann	Curious Story , Opus 15 (1838)
12	79	163	2327	0.171	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 7 Andantino
13	38	88	748	0.188	Schumann	Blindman's Buff , Opus 15 (1838)
14	198	218	5750	0.192	Mozart	Sonate Nr. 13 B-Dur, KV 333_1 (1783)
15	25	156	1003	0.192	Tchaikovsky	May, Opus 37a (1876)
16	78	193	2647	0.194	Schubert	6 Moments musicaux_1, D 780, Opus 94
17	47	153	1478	0.2	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 7
18	16	121	580	0.206	Schumann	Almost Too Serious , Opus 15 (1838)
19	30	73	517	0.217	Schumann	In Slumberland, Opus 15 (1838)
20	96	190	2871	0.224	Mozart	Sonate Nr. 13 B-Dur, KV 333_2 (1783)
21	117	136	2324	0.231	Schubert	6 Moments musicaux_5, D 780, Opus 94
22	162	194	4110	0.234	Mozart	Sonate Nr. 17 B-Dur, KV 570_1 (1789)
23	179	106	2393	0.236	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 19 Vivace
24	44	242	2146	0.239	Debussy	Suite bergamasque (1905) Passepied
25	131	148	2684	0.241	Mozart	Sonate Nr. 11 A-Dur (Alla Turca) ,
26	132	149	2714	0.241	Mozart	Sonate Nr. 16 C-Dur (Sonata facile) ,
27	75	148	1852	0.241	Tchaikovsky	November, Opus 37a (1876)
28	64	108	1207	0.248	Chopin	Études, Opus 10 (1832) Nr. 1 Allegro
29	83	149	1968	0.25	Mozart	Sonate Nr. 17 B-Dur, KV 570_2 (1789)
30	100	98	1450	0.256	Grieg	Lyric Pieces Book V, Opus 54 (1891)NA°
31	46	119	1058	0.263	Schubert	6 Moments musicaux_3, D 780, Opus 94
32	74	112	1337	0.269	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 15 Regentropenprélude Sostenuto
33	147	170	3148	0.272	Schubert	Sonata para piano en Si bemol mayor
34	181	209	4413	0.275	Chopin	Études, Opus 10 (1832) NA° 5 Black
35	83	118	1504	0.275	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 24 Allegro appassionato
36	99	130	1812	0.29	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 1
37	69	200	2201	0.296	Albeniz	Cataluña (Curranda)
38	108	400	5816	0.298	Liszt	19 Rapsodias hAngaras (1885)NA° 15 -Marcha
39	62	163	1659	0.305	Mozart	Sonate Nr. 8 D-Dur, KV 311_2 (1777)
40	46	142	1198	0.309	Chopin	2 Nocturnes, Opus 27 (1835) Nr. 1
41	238	735	17220	0.311	Liszt	Reminiscences de Don Juan(Fantasia sobre Don Giovanni
42	57	128	1228	0.311	Borodin	Mazurka Allegro
43	356	192	5716	0.318	Schubert	4 Impromptus_4, D 899, Opus 90 (1827)
44	129	202	3156	0.321	Haydn	Sonata para piano en Sol mayor, Hoboken
45	94	144	1845	0.323	Bach	Preludio y Fuga en Re mayor BWV
46	23	199	1094	0.326	Borodin	Intermezzo Tempo di minuetto
47	41	116	895	0.328	Beethoven	Sonata NA° 14_2 Do sostenido menor, Opus
48	66	520	5335	0.328	Mussorgsky	The Hut on Chicken's Legs (Baba-Yaga)-The Great
49	72	130	1403	0.329	Granados	Danzas españolas (1900)Nr. 2 -Oriental
50	172	278	5076	0.333	Mozart	Sonate Nr. 12 F-Dur, KV 332_1 (1783)
51	294	231	5874	0.333	Mozart	Sonate Nr. 12 F-Dur, KV 332_3 (1783)
52	99	399	5152	0.338	Schubert	Sonata para piano en La menor 1,
53	113	225	3143	0.339	Schubert	4 Impromptus_2, D 899, Opus 90 (1827)
54	132	123	1871	0.344	Granados	Danzas españolas (1900)No. 4 -Villanesca
55	262	109	2496	0.348	Chopin	2 Nocturnes, Opus 27 (1835) Nr. 2
56	342	178	4772	0.35	Mozart	Sonate Nr. 10 C-Dur, KV 330_1 (1783)
57	61	235	2232	0.351	Tchaikovsky	September, Opus 37a (1876)
58	204	136	2650	0.352	Schubert	6 Moments musicaux_4, D 780, Opus 94
59	120	173	2430	0.357	Granados	Danzas españolas (1900)Nr. 3 -Zarabanda
60	119	88	1229	0.358	Chopin	Scherzo Si bemol menor, Opus 31 (1837)
61	161	363	6052	0.359	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 9 Largo
62	151	400	6311	0.368	Liszt	Études d'exécution transcendante (1851)NA° 8 -Wild
63	56	171	1502	0.373	Tchaikovsky	June, Opus 37a (1876)
64	315	445	10734	0.374	Schubert	Sonata para piano en Si bemol mayor
65	78	187	1981	0.376	Beethoven	Sonata NA° 23 Fa menor (Appassionata_2) ,
66	284	125	2815	0.377	Mozart	Sonate Nr. 11 A-Dur (Alla Turca) ,
67	218	332	6377	0.378	Beethoven	Sonata NA° 23 Fa menor (Appassionata_1) ,
68	235	430	8573	0.381	Beethoven	Sonata NA° 21 Do mayor (Waldstein_1) ,
69	214	162	3046	0.383	Chopin	Grande Valse Brilliante, Opus 18 (1831)
70	118	354	4665	0.388	Schubert	Fantasia Do mayor (Wanderer_1) , D 760,
71	227	250	4775	0.392	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 6 Assai lento
72	85	185	1998	0.396	Albeniz	CAjdziz (Saeta)
73	58	111	962	0.399	Burgmueller	The pearls
74	216	329	5951	0.404	Beethoven	Sonata NA° 8 Do menor (Pathetique_1) ,
75	40	154	1080	0.404	Tchaikovsky	July, Opus 37a (1876)
76	114	153	1922	0.405	Mozart	Sonate Nr. 17 B-Dur, KV 570_3 (1789)
77	54	231	1911	0.405	Tchaikovsky	February, Opus 37a (1876)

Continuación del cuadro 2.1						
N	$f_1$	V	T	$\nu$	Compositor	Composición
78	91	309	3396	0.409	Schubert	Sonata para piano en La menor 3,
79	178	137	2188	0.411	Albeniz	Cuba (Notturmo)
80	46	261	1959	0.412	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 3
81	110	583	7064	0.414	Liszt	Études d'exécution transcendante (1851)NA° 4 -Mazeppa
82	80	89	904	0.414	Chopin	Études, Opus 25 (1836) Nr. 2
83	118	254	3187	0.417	Mozart	Sonate Nr. 13 B-Dur, KV 333_3 (1783)
84	38	91	612	0.417	Schumann	Great Adventure , Opus 15 (1838)
85	44	132	961	0.417	Mozart	Sonate Nr. 16 C-Dur (Sonata facile) ,
86	71	125	1184	0.417	Albeniz	Malagueña
87	96	324	3614	0.419	Schubert	Fantasia Do mayor (Wanderer_4) , D 760,
88	75	161	1560	0.422	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 13 Lento
89	133	423	5615	0.423	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 5 Molto allegro
90	83	432	4397	0.426	Liszt	19 Rapsodias hA <sup>9</sup> ngaras (1885)NA° 10 Preludio
91	184	354	5579	0.427	Schubert	Sonata para piano en Si bemol mayor
92	265	100	1909	0.431	Mozart	Sonate Nr. 16 C-Dur (Sonata facile) ,
93	110	207	2432	0.433	Tchaikovsky	August , Opus 37a (1876)
94	152	212	2970	0.433	Mozart	Sonate Nr. 8 D-Dur, KV 311_1 (1777)
95	130	87	1115	0.435	Burgmueller	The Fountain
96	185	165	2562	0.435	Tchaikovsky	December, Opus 37a (1876)
97	60	196	1653	0.435	Schubert	6 Moments musicaux_2, D 780, Opus 94
98	88	485	5028	0.435	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 18 Molto allegro
99	66	191	1693	0.436	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 23 Moderato
100	81	223	2206	0.437	Albeniz	Castilla (Seguidillas)
101	318	210	4346	0.439	Mozart	Sonate Nr. 10 C-Dur, KV 330_3 (1783)
102	116	243	2899	0.441	Albeniz	Sevilla
103	123	98	1203	0.442	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 22 Molto agitato
104	117	131	1550	0.448	Mendelssohn	Songs without Words Book 2, Opus 30
105	138	246	3175	0.449	Albeniz	Aragon (Fantasia)
106	41	503	3406	0.449	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 2
107	90	176	1808	0.449	Mendelssohn	Songs without Words Book 4, Opus 53
108	438	259	6203	0.45	Mozart	Sonate Nr. 11 A-Dur (Alla Turca) ,
109	86	81	808	0.452	Schumann	On the Rocking Horse , Opus 15
110	32	143	846	0.453	Tchaikovsky	October, Opus 37a (1876)
111	71	136	1225	0.453	Chopin	Études, Opus 25 (1836) Nr. 1 Harp
112	56	188	1492	0.454	Tchaikovsky	January, Opus 37a (1876)
113	68	86	755	0.455	Mendelssohn	Songs without Words Book 5, Opus 62
114	70	167	1489	0.455	Albeniz	Zortzico
115	143	271	3517	0.456	Mozart	Sonate Nr. 8 D-Dur, KV 311_3 (1777)
116	205	264	4145	0.457	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 3 -
117	476	295	7223	0.458	Beethoven	Sonata NA° 23 Fa menor (Appassionata_3) ,
118	143	179	2306	0.46	Haydn	Sonata para piano en Sol mayor, Hoboken
119	209	511	8040	0.46	Balakirew	Islamej (fantasia Oriental) (1869)
120	44	126	872	0.462	Grieg	Lyric Pieces Book III, Opus 43 (1886)NA°
121	173	604	8556	0.463	Liszt	19 Rapsodias hA <sup>9</sup> ngaras (1885)NA° 9 -Carnaval
122	31	92	527	0.47	Chopin	Polonaise La bemol mayor, Opus 53 (1842)
123	35	247	1503	0.472	Bach	Preludio y Fuga en Do mayor BWV
124	67	66	558	0.476	Schumann	The Poet speaks, Opus 15 (1838)
125	123	143	1631	0.484	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 16 Presto con
126	197	310	4457	0.489	Liszt	Études d'exécution transcendante (1851)NA° 5 -Feux
127	386	367	7359	0.492	Beethoven	Sonata NA° 21 Do mayor (Waldstein_3) ,
128	38	241	1493	0.495	Debussy	Suite bergamasque (1905) Clair de Lune
129	34	102	597	0.496	Tchaikovsky	March, Opus 37a (1876)
130	128	341	3882	0.497	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 1
131	87	153	1432	0.498	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 4
132	214	408	5975	0.499	Chopin	Études, Opus 10 (1832) NA° 12 Revolutionary
133	164	152	1935	0.503	Albeniz	Granada
134	60	175	1350	0.503	Mussorgsky	Promenade -Ballet of the Unhatched Chickens
135	145	181	2165	0.504	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 4 Largo
136	18	52	220	0.504	Schumann	By the Fire-side , Opus 15 (1838)
137	124	334	3680	0.506	Schubert	Fantasia Do mayor (Wanderer_3) , D 760,
138	97	153	1484	0.51	Mozart	Sonate Nr. 10 C-Dur, KV 330_2 (1783)
139	28	99	518	0.513	Grieg	Lyric Pieces Book I, Opus 12 (1867)NA°
140	109	371	3781	0.514	Schubert	Fantasia Do mayor (Wanderer_2) , D 760,
141	72	105	871	0.516	Chopin	Sonata para piano NA° 2 Si bemol
142	187	429	5617	0.521	Schumann	Abegg Variations, Opus 1 (1830)
143	70	432	3505	0.522	Brahms	4 Piezas para piano (Rhapsodie), Opus 119
144	105	139	1371	0.523	Tchaikovsky	April, Opus 37a (1876)
145	22	99	456	0.524	Schumann	Hobgoblin, Opus 15 (1838)
146	73	172	1398	0.535	Albeniz	Serenata
147	158	166	1933	0.539	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 3 Vivace
148	25	84	404	0.547	Grieg	Lyric Pieces Book II , Opus 38
149	121	199	2007	0.549	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 8
150	359	390	6532	0.549	Beethoven	Sonata NA° 14_3 Do sostenido menor, Opus
151	72	176	1384	0.554	Mozart	Sonate Nr. 12 F-Dur, KV 332_2 (1783)
152	179	613	7344	0.555	Liszt	19 Rapsodias hA <sup>9</sup> ngaras (1885)NA° 12 Mesto
153	136	326	3422	0.557	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 2
154	93	235	2071	0.557	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 5
155	52	272	1827	0.558	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 5
156	71	166	1284	0.561	Bach	Preludio y Fuga en Do menor BWV
157	109	212	1988	0.564	Schubert	6 Moments musicaux_6, D 780, Opus 94
158	27	70	342	0.571	Chopin	Sonata para piano NA° 2 Si bemol
159	316	251	3748	0.572	Mussorgsky	Promenade -The Market Place of Limoges
160	112	105	980	0.574	Mussorgsky	Bydlo (1874)

Continuación del cuadro 2.1						
N	$f_1$	V	T	$\nu$	Compositor	Composición
161	260	190	2581	0.575	Schubert	4 Impromptus_3, D 899, Opus 90 (1827)
162	179	194	2194	0.583	Grieg	Lyric Pieces Book X, Opus 71 (1901)NA°
163	85	296	2395	0.586	Beethoven	Sonata NA° 8 Do menor (Pathetique_3) ,
164	48	139	869	0.587	Brahms	7 FantasAa, Opus 116_5 (1892)
165	43	137	813	0.59	Mussorgsky	Promenade -Die Tuilerien (1874)
166	110	354	3170	0.594	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 20 Largo
167	60	92	627	0.598	Grieg	Lyric Pieces Book I, Opus 12 (1867)NA°
168	26	61	286	0.599	Chopin	Sonata para piano NA° 2 Si bemol
169	18	107	424	0.602	Grieg	Lyric Pieces Book III, Opus 43 (1886)NA°
170	40	112	634	0.603	Albeniz	Prélude
171	77	81	604	0.612	Chopin	5 Mazurkas, Opus 7 (1831) Nr. 2
172	75	136	972	0.633	Mendelssohn	Songs without Words Book 5, Opus 62(1844)NA°5-Venetian Gondola
173	96	146	1144	0.64	Beethoven	Sonata NA° 14_L Do sostenido menor, Opus
174	48	172	1007	0.644	Mendelssohn	Songs without Words Book 5, Opus 62
175	43	80	444	0.65	Schumann	A Tale of Distant Lands , Opus
176	81	323	2308	0.655	Debussy	Suite bergamasque (1905) Menuet
177	106	288	2291	0.656	Schubert	Sonata para piano en Si bemol mayor
178	45	230	1293	0.656	Borodin	Mazurka Allegretto
179	66	101	663	0.657	Chopin	5 Mazurkas, Opus 7 (1831) Nr. 1
180	85	128	929	0.658	Albeniz	Capricho Catalan
181	24	76	327	0.661	Chopin	Ballade Sol menor, Opus 23 (1835) Ballade
182	235	463	4971	0.662	Liszt	Grandes Études de Paganini (1851)Nr. 6
183	121	199	1643	0.665	Beethoven	Sonata NA° 8 Do menor (Pathetique_2) ,
184	111	104	829	0.666	Borodin	Serenade Allegretto
185	30	280	1315	0.668	Schubert	Sonata para piano en La menor 2,
186	104	135	1042	0.67	Beethoven	Para Elise
187	517	353	4973	0.671	Schubert	4 Impromptus_1, D 899, Opus 90 (1827)
188	36	64	321	0.677	Chopin	Études, Opus 25 (1836) Nr. 12
189	59	285	1738	0.679	Debussy	Suite bergamasque (1905) Prélude
190	715	172	2621	0.685	Albeniz	Asturias (Leyenda)
191	28	92	413	0.687	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 14 Allegro
192	31	135	631	0.688	Chopin	Sonata para piano NA° 2 Si bemol
193	87	262	1831	0.689	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 2 Lento
194	33	180	854	0.698	Brahms	7 FantasAa, Opus 116_6 (1892)
195	102	258	1887	0.699	Liszt	Sueños de amor (1850)Nr 3
196	96	109	778	0.7	Borodin	Nocturne
197	52	181	1023	0.701	Brahms	7 FantasAa, Opus 116_2 (1892)
198	63	136	826	0.702	Burgmueller	Thunderstorm
199	54	290	1656	0.704	Mussorgsky	Promenade -Gnomus (1874)
200	93	299	2088	0.706	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 17 Allegretto
201	69	67	405	0.731	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 11 Vivace
202	178	168	1371	0.748	Mussorgsky	Promenade -Il vecchio Castello (1874)
203	13	102	321	0.756	Chopin	Études, Opus 25 (1836) Nr. 11 Winter
204	420	155	1518	0.786	Chopin	Études, Opus 25 (1836)Nr. 4
205	13	53	164	0.789	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 12 Presto
206	33	97	414	0.811	Schumann	Pleading Child , Opus 15 (1838)
207	22	182	670	0.821	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 4
208	14	105	327	0.829	Borodin	Réverie Andante
209	23	187	680	0.858	Albeniz	Tango
210	173	254	1633	0.873	Chopin	Préludes, Opus 28 (1838)Nr. 1 Agitato
211	17	226	709	0.931	Schumann	Kreisleriana, Opus 16 (1838) Moments 6
212	37	166	655	0.933	Borodin	In the monastery Andante religioso
213	87	298	1371	0.986	Chopin	Fantaisie-Impromptu, Opus 66 (1834)
214	117	176	849	0.997	Mussorgsky	Samuel Goldenberg and Schmuyle (1874)
215	10	108	237	0.999	Schumann	Perfect Happiness, Opus 15 (1838)
216	20	205	573	0.999	Chopin	4 Mazurkas, Opus 33 (1838) Nr. 2
217	24	156	493	0.999	Beethoven	Sonata NA° 21 Do mayor (Waldstein_2) ,

# Capítulo 3

## Melodización de series temporales

Las series financieras son normalmente analizadas a través de sus patrones observados visualmente en gráficas como por ejemplo la evolución temporal del precio de una acción bursátil. El objetivo de este trabajo es desarrollar un procedimiento para transformar la información contenida en una serie de tiempo en una melodía para poder aprovechar nuestras capacidades auditivas de procesamiento y análisis de señales.

### 3.1. Análisis de una secuencia de eventos a través de elementos básicos

Para analizar tanto las obras literarias como las musicales se realiza un estudio estadístico a partir de los elementos básicos que constituyen la obra; palabras en el primer caso (despreciando los signos de puntuación y exclamación) y notas en el segundo (despreciando el timbre, el volumen y los silencios). La definición del elemento básico es arbitraria. Por ejemplo, en el caso de obras literarias podrían ser las letras, pares de palabras contiguas u oraciones. En el caso de las series de tiempo financieras los elementos básicos pueden ser los valores que toma la serie, las diferencias entre valores consecutivos, el signo del cambio o cualquier definición de patrones de dimensión fija o variable. Sin embargo, existen ciertas restricciones para

seleccionar el elemento básico en las series de tiempo cuando se pretende establecer un paralelismo con obras musicales. En particular, el número de elementos básicos  $V$  deben ser aproximadamente iguales, lo cual descarta de entrada los valores en la serie ( $V \approx T$ ), las diferencias consecutivas ( $V \approx T'$ ) y sus cambios de signo ( $V = 2$ ). Una rama del análisis financiero, controversial pero tradicionalmente utilizado, es el análisis Chartista que consiste en identificar ciertos patrones que se repiten en las series financieras y que son utilizados para intentar predecir la tendencia del mercado de valores en el futuro próximo. En la figura 3-1 se muestra una serie de patrones llamados figuras Charlistas.[4].

En este trabajo no utilizaremos estas figuras como unidades básicas debido a que su número es limitado, sus definiciones son ambiguas y no todos los segmentos de una serie financiera se ajustan a alguno de estos patrones.

## 3.2. Elementos básicos de una serie de tiempo

Para establecer una correspondencia entre los patrones en la serie y las notas en una composición musical, el conjunto de patrones escogido debe producir una frecuencia normalizada de aparición  $\tilde{F}_k = \frac{F_k}{F_1}$  en la serie similar a la distribución  $\tilde{f}_k = \frac{f_k}{f_1}$  de alguna composición musical. No existe ningún método analítico para determinar el conjunto de patrones que produce el mejor ajuste a  $\tilde{F}_k \approx \tilde{f}_k$ , por lo que nos vimos obligados a ensayar conjuntos de patrones definidos arbitrariamente. Luego de una serie de pruebas obtuvimos una definición para establecer los patrones que satisface razonablemente la condición  $\tilde{F} \approx \tilde{f}$ .

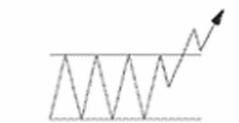
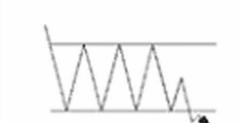
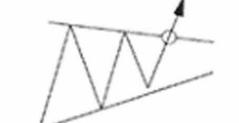
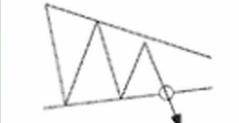
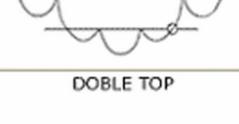
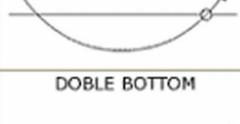
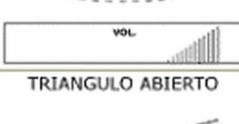
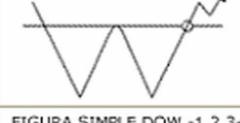
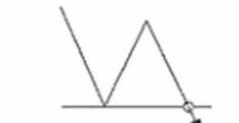
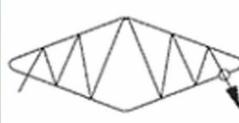
ZONA DE FLUCTUACION 	ZONA DE FLUCTUACION 	TRIANGULO SIMETRICO 	TRIANGULO SIMETRICO 
TRIANGULO DESCENDENTE 	TRIANGULO ASCENDENTE 	CABEZA Y HOMBROS 	CABEZA Y HOMBROS INVERTIDA 
CABEZA Y HOMBROS MULTIPLE 	SUELO REDONDEADO O SOPERA 	SUELO DURMIENTE 	FORMACION MEJILLONES 
DOBLE TOP 	DOBLE BOTTOM 	TRIANGULO ABIERTO 	GALLARDETE ALCISTA 
BANDERITA ALCISTA 	FIGURA SIMPLE DOW -1.2.3- 	FIGURA SIMPLE DOW -1.2.3- 	DIAMANTE 
RECTANGULO BAJISTA 	RECTANGULO ALCISTA 	"SPIKE" -PUNTA AGUDA- 	"SPIKE" -PUNTA AGUDA- 
ISLOTE BAJISTA 	ISLOTE ALCISTA 	VUELTA EN UN DIA 	VUELTA EN UN DIA 

Figura 3-1: Principales figuras Chartistas

### 3.2.1. Definiendo patrones de una serie de tiempo

El procedimiento utilizado para establecer el conjunto de patrones es el siguiente:

1. Se definen los picos de la serie financiera como los valores cuyos vecinos inmediatos (el anterior y el siguiente) son inferiores a ellos.
2. A cada uno de estos picos se le asigna el patrón  $P_{i,j}$  caracterizado por el par de índices  $[i, j]$ , donde  $i$  es la cantidad de datos que lo separan del pico anterior y  $j$  la cantidad de datos que lo separan del siguiente. Por lo tanto, habrá tantos picos como patrones (muchos de ellos con los mismos índices  $[i, j]$ ).
3. Se obtiene el número de repeticiones  $F_{i,j}$  de cada patrón  $P_{i,j}$  se reordena estos últimos, mediante un único subíndice  $k$  en orden decreciente de ocurrencia esto es  $P_1$  será el  $P_{i,j}$  cuya ocurrencia  $F_{i,j}$  sea mayor,  $P_2$  será el  $P_{i,j}$  cuya ocurrencia  $F_{i,j}$  sea la segunda mayor, y así hasta  $P_V$  que será el  $P_{i,j}$  cuya ocurrencia  $F_{i,j}$  sea la menor

Una vez establecido el conjunto de patrones  $P$  se reescribe la serie como una cadena de patrones  $(P^1, P^2, \dots, P^T)$  donde el superíndice indica la posición del patrón en la serie. Un ejemplo de cadena podría ser  $(P_5^1, P_{12}^2, P_{V-2}^3, P_{54}^4, P_1^5 \dots)$ . Nótese que al reescribir la serie como una cadena de patrones se produce necesariamente una pérdida de información que reduce el léxico a  $V$  patrones y la longitud a  $T$  unidades básicas. La frecuencia normalizada se define como  $\tilde{F}_k = \frac{F_k}{F_1}$ .

Líneas atrás planteamos que las notas eran para la composición musical lo que las palabras son para una obra literaria. De la misma manera, ahora supondremos que los tipos de picos  $P_k$  son para la serie de tiempo lo que las notas son para una composición.

Entre las varias definiciones de patrones ensayadas la descrita anteriormente es la que al aplicarla a series financieras produce una distribución que satisface razonablemente la condición  $\tilde{F} \approx \tilde{f}$ . Adicionalmente encontramos que el valor del parámetro  $\nu$  puede clasificar las distintas series financieras utilizadas, este punto será ampliado en el capítulo 4.

Para procesar los datos se desarrolló un programa que a partir de una serie financiera, identifica y cuenta las veces que aparece cada tipo de pico, los ordena de mayor a menor según su frecuencia de aparición y ajusta una curva utilizando la expresión general de la ley de Zipf ecuación ( 2.3). Este ajuste se realiza encontrando numéricamente el valor de  $\nu$  para el cual la curva tiene el mejor ajuste a los puntos  $(k, F_k)$ . Una vez obtenido  $V$  y  $\nu$  se busca en la tabla (2.1) aquella composición con la combinación  $V$  y  $\nu$  más similar. La melodización de la serie financiera se genera simplemente asociando a cada patrón  $P_k$  la nota  $N_k$ , construyendo la secuencia de notas  $(N^1, N^2, \dots, N^T)$  correspondiente a la cadena de patrones  $(P^1, P^2, \dots, P^T)$  de la serie y almacenandola en formato MIDI.

# Capítulo 4

## Melodización de series financieras

Con el fin de probar la técnica de melodización la aplicamos a tres series financieras norteamericanas: S&P 500, Dowjones y Nasdaq; y a dos asiáticas: Hang Seng y Straits Times. Los archivos de datos de las cinco series financieras con los que se realiza este estudio fueron descargados del sitio web yahoo finanzas [11]. Estos archivos se encuentran disponibles en formato CSV o *Comma Separated Values*. Los datos utilizados para las tres series norteamericanas comienzan y terminan en las mismas fechas, van desde el 2 de enero de 1986 hasta el 21 de septiembre de 2007. De igual forma, para las dos series asiáticas los datos van desde el 28 de diciembre de 1987 hasta el 2 de mayo de 2008. Las series utilizadas, que se muestran en la figura (4-1) contienen los valores de apertura de cada día con actividad bursátil durante aproximadamente 21 años. La tabla (4.1) muestra para las cinco series financieras la jerarquía de picos  $P_{i,j}$  según su ocurrencia  $F_k$  y los parámetros estadísticos  $V$ ,  $T$ ,  $F_1$  y  $\nu$ , donde, el valor de  $\nu$  para la serie se determina resolviendo numéricamente la ecuación ( 2.4). Los puntos en la figura 4-2 muestra la distribución  $F_k$ , mientras que la curva muestra la ley de Zipf generalizada de la ecuación ( 2.3) correspondiente a los parámetros  $V$ ,  $T$ ,  $F_1$  y  $\nu$  de cada una de las series.

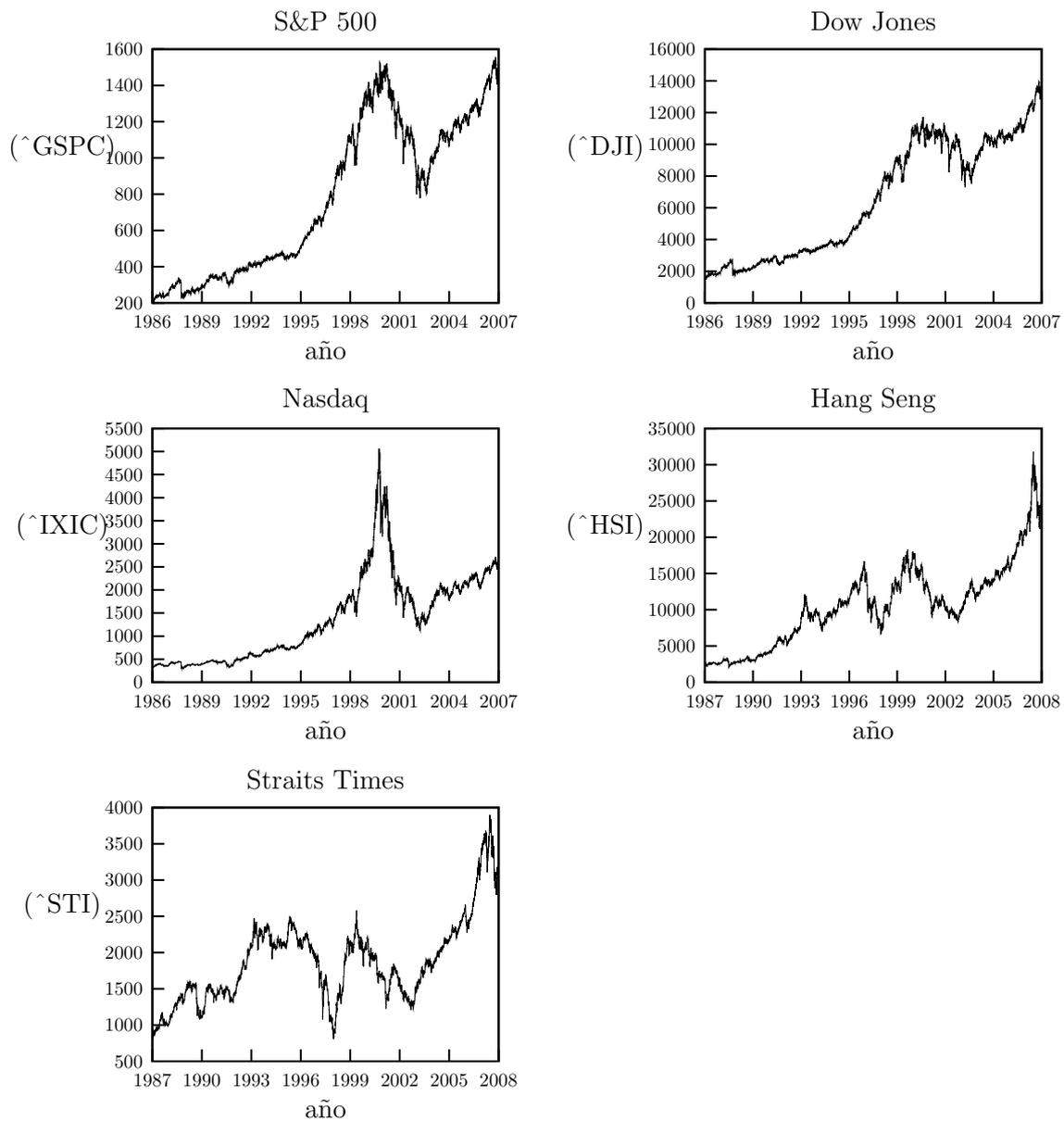


Figura 4-1: Series financieras del S&P 500, Dow Jones, Nasdaq, HSI y STI cada una con un rango de aproximadamente 21 años de cotizaciones mostrando la apertura de cada día.

Norte America									Singapore					
(^GSPC)			(^DJI)			(^IXIC)			(^HSI)			(^STI)		
$k$	$P_{i,j}$	$F_k$	$k$	$P_{i,j}$	$F_k$	$k$	$P_{i,j}$	$F_k$	$k$	$P_{i,j}$	$F_k$	$k$	$P_{i,j}$	$F_k$
1	$P_{2,1}$	85	1	$P_{1,2}$	90	1	$P_{1,1}$	66	1	$P_{2,2}$	80	1	$P_{2,2}$	70
2	$P_{2,2}$	81	2	$P_{2,1}$	83	2	$P_{2,2}$	65	2	$P_{1,2}$	79	2	$P_{2,1}$	64
3	$P_{1,2}$	80	3	$P_{1,1}$	78	3	$P_{1,2}$	56	3	$P_{2,3}$	65	3	$P_{3,2}$	57
4	$P_{1,1}$	79	4	$P_{2,3}$	71	4	$P_{2,1}$	55	4	$P_{2,1}$	64	4	$P_{1,2}$	54
5	$P_{1,3}$	73	5	$P_{3,1}$	68	5	$P_{2,3}$	49	5	$P_{3,1}$	54	5	$P_{2,3}$	50
6	$P_{3,1}$	70	6	$P_{1,3}$	67	6	$P_{1,3}$	48	6	$P_{1,1}$	53	6	$P_{3,3}$	49
7	$P_{2,3}$	67	7	$P_{2,2}$	67	7	$P_{3,2}$	48	7	$P_{3,2}$	50	7	$P_{1,1}$	44
8	$P_{3,2}$	67	8	$P_{3,2}$	63	8	$P_{3,3}$	46	8	$P_{3,3}$	46	8	$P_{1,3}$	43
9	$P_{3,3}$	55	9	$P_{3,3}$	57	9	$P_{3,1}$	44	9	$P_{1,3}$	41	9	$P_{4,2}$	40
10	$P_{4,2}$	44	10	$P_{1,4}$	45	10	$P_{3,4}$	41	10	$P_{2,4}$	39	10	$P_{3,1}$	37
11	$P_{4,1}$	42	11	$P_{4,1}$	43	11	$P_{5,1}$	39	11	$P_{4,2}$	37	11	$P_{1,4}$	33
12	$P_{1,4}$	42	12	$P_{4,2}$	39	12	$P_{4,2}$	38	12	$P_{3,4}$	35	12	$P_{2,4}$	33
13	$P_{3,4}$	38	13	$P_{3,4}$	36	13	$P_{2,4}$	36	13	$P_{4,1}$	31	13	$P_{1,5}$	32
14	$P_{2,4}$	37	14	$P_{4,3}$	34	14	$P_{4,3}$	35	14	$P_{1,4}$	29	14	$P_{4,3}$	31
15	$P_{5,1}$	34	15	$P_{2,4}$	31	15	$P_{1,4}$	32	15	$P_{4,3}$	29	15	$P_{4,1}$	30
16	$P_{4,3}$	31	16	$P_{5,1}$	31	16	$P_{4,1}$	28	16	$P_{2,5}$	27	16	$P_{5,2}$	30
17	$P_{4,4}$	29	17	$P_{4,4}$	30	17	$P_{1,5}$	27	17	$P_{5,2}$	27	17	$P_{5,1}$	28
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
85	$P_{11,4}$	1	83	$P_{11,7}$	1	120	$P_{16,1}$	1	91	$P_{13,1}$	1	99	$P_{7,9}$	1
86	$P_{11,7}$	1	84	$P_{11,9}$	1	121	$P_{17,5}$	1	92	$P_{14,1}$	1	100	$P_{2,9}$	1
87	$P_{12,1}$	1	85	$P_{12,1}$	1	122	$P_{19,4}$	1	93	$P_{14,4}$	1	101	$P_{14,2}$	1
88	$P_{5,8}$	1	86	$P_{15,3}$	1	123	$P_{21,4}$	1	94	$P_{18,4}$	1	102	$P_{15,3}$	1
$F_1$	85		90			66			80			70		
$V_s$	88		86			123			94			102		
$T$	1374		1366			1242			1211			1178		
$\nu$	0.144		0.160			0.340			0.251			0.267		
S&P 500 (^GSPC), Dow Jones (^DJI), Nasdaq (^IXIC), Hang Seng (^HSI) y Straits Times (^STI)														

Cuadro 4.1: Tabla de tipos de picos y parametros estadisticos  $F_1$ ,  $V_s$ ,  $T$  y  $\nu$

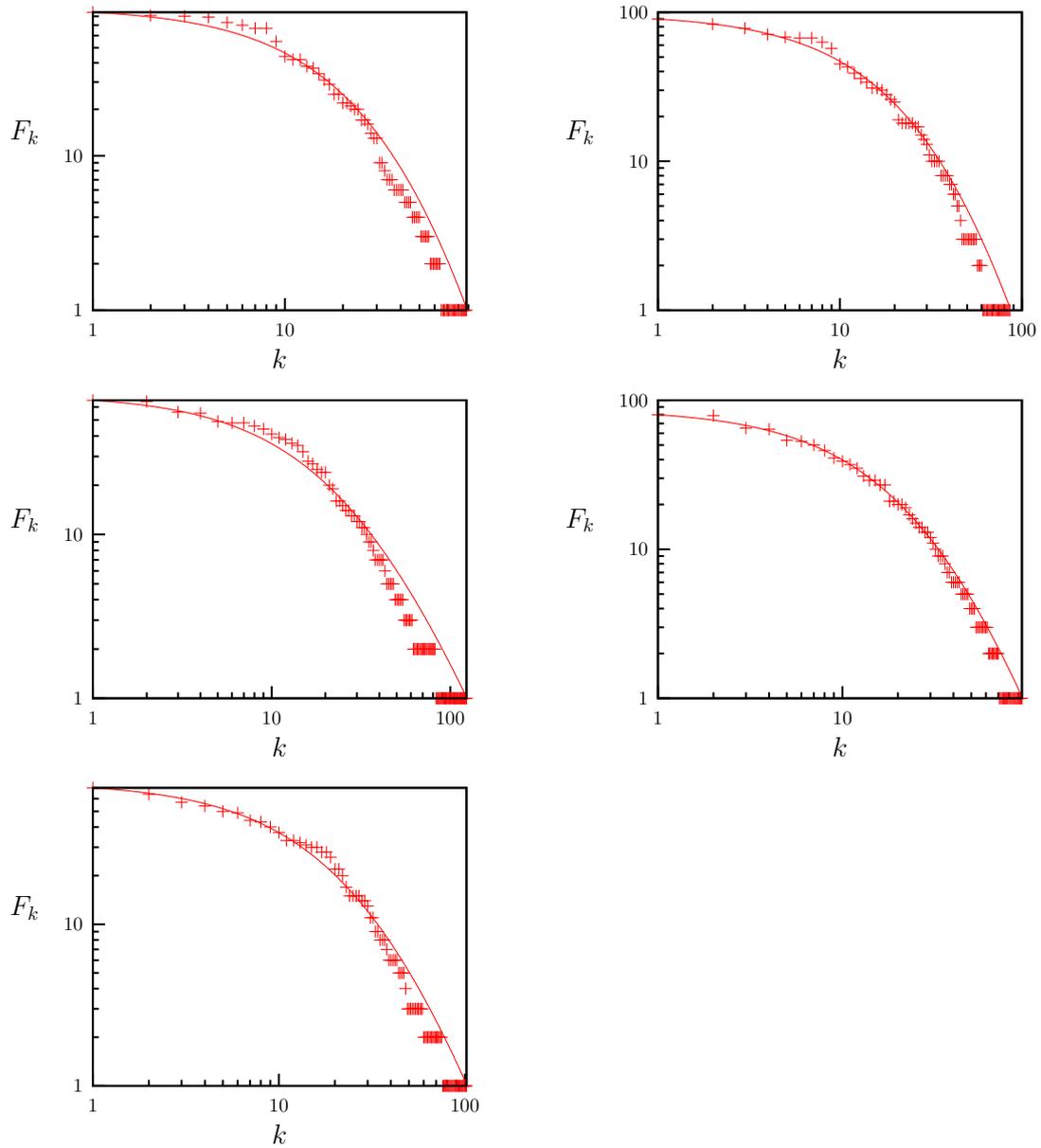


Figura 4-2: Distribuciones  $F_k$  de las series de S&P 500 (a), Dow Jones (b), Nasdaq (c), HSI (d) y STI (e). Los puntos indican las ocurrencias de cada tipo de pico y la curva la ley de Zipf generalizada utilizando a los parámetros  $V$ ,  $T$ ,  $F_1$  y  $\nu$  de cada una de las series.

## 4.1. Escogencia de la composición musical en MIDI más afín a la serie

Luego de obtener el valor de  $\nu$  de la serie, se utiliza la tabla de composiciones (ver tabla 2.1) para buscar la que posee el parámetro  $\nu$  que mas se aproxime al  $\nu$  de la serie. En nuestro caso el  $\nu$  de la serie financiera del Dowjones es de  $\nu = 0,160$  y en la tabla de composiciones, la composición que mas se aproxima es "Préludes, Opus 28 (1838)" del compositor Chopin con  $\nu = 0,160$  mientras que el Nasdaq posee un valor  $\nu = 0,340$  y la composición que mas se aproxima en  $\nu$  y el tamaño del léxico ( $V_m = V_s$ ) es "Danzas españolas (1900)" del compositor Granados con  $\nu = 0,344$ , para el resto de las series se puede ver las composiciones asignadas en la tabla 4.2. Por otro lado debemos tomar en cuenta que el número de notas distintas  $V_m$  en la composición debe ser mayor o igual al número de tipos de picos distintos  $V_s$  en la serie para poder construir una tabla de transformación (ver Tabla 4.4) que nos permita asignar a cada tipo de pico  $[P_{i,j}]_k$  en la serie una nota musical ( $\overrightarrow{nota} = [tono, duracion]_k$ ) de la composición. Cuando exista más de una composición que tenga el valor de  $\nu$  cercano al de la serie, entonces se escoge la composición con el  $V_m$  más cercano a  $V_s$ . Cada serie y composición tienen una distribución dada por  $\tilde{F}_k$  y  $\tilde{f}_k$  respectivamente. Para obtener una medida de que tanto difiere la distribución de una serie con respecto a la distribución de la composición que se pretende asociar a dicha serie, determinamos la desviación estándar 4.3 de las diferencias 4.1 entre los valores de las dos distribuciones.

$$\Delta\tilde{F}_k = \sqrt{(\tilde{F}_k - \tilde{f}_k)^2} \quad (4.1)$$

$$\langle \Delta\tilde{F} \rangle = \sum_{k=1}^{V_s} \frac{\Delta\tilde{F}_k}{V_s} \quad (4.2)$$

$$\sigma = \sum_{k=1}^{V_s} \sqrt{\frac{(\Delta\tilde{F}_k - \langle \Delta\tilde{F} \rangle)^2}{V_s - 1}} \quad (4.3)$$

$F_1$ ó $f_1$	$V$	$T$	$\nu$	Serie ó Composición	Desviación estándar $\sigma$
198 90	94 86	2634 1366	0.160 0.160	Cantabile Dowjones	0,0501862
132 66	123 123	1871 1242	0.344 0.340	Danzas españolas Nasdaq	0,0834491
198 85	94 88	2634 1374	0.160 0.144	Cantabile S&P 500	0,0713336
100 80	98 94	1450 1211	0.256 0.251	March of the Dwarfs HSI	0,0333803
74 70	112 102	1337 1178	0.269 0.267	Regentropenprélude Sostenuto STI	0,0357942

Cuadro 4.2: Tabla de series con sus composiciones mas afines y parametros estadisticos  $F_1$ ,  $V_s$ ,  $T$ ,  $\nu$  y  $\sigma$

El análisis realizado a cada una de las composiciones por separado, ordena las distintas notas de mayor a menor según su ocurrencia en la composición y se determinan los parámetros estadísticos  $V$ ,  $T$ ,  $f_1$  y  $\nu$  (ver tabla 4.3). la tabla muestra las jerarquías de notas según su ocurrencia

Una vez seleccionada la composición afín a la serie se establece la nota correspondiente a cada tipo de pico, según su jerarquía. Esto es, a cada pico del tipo  $P_k$  se asigna la nota  $N_k$  para todas las jerarquías entre  $1 \leq k \leq V_s$ . Nótese que en general  $V_s > V_m$  y por lo tanto las notas con jerarquía entre  $V_s \leq k \leq V_m$  no están asociadas a ningún tipo de pico. La Tabla 4.4 muestra las correspondencias resultantes.

## 4.2. Construyendo la melodía financiera

Se desarrolló un programa en java que utiliza la librería Jmusic [10] para crear el archivo MIDI con la secuencia de notas asociada, por la tabla de correspondencia 4.4, a la secuencia de picos en la serie. El CD adjunto a esta tesis contiene las melodizaciones para escuchar las melodizaciones. En Windows las podrá escuchar ejecutando el archivo Melodizaciones\_Win.exe, en Linux ejecutando Melodizaciones\_Linux.html y en Mac OS (sistema operativo Macintosh) ejecutando Melodizaciones\_Mac.hqx.

Análisis de composiciones											
Cantabile			Danzas Españolas			March			Regentropenprélude		
$k$	$N_{i,j}$	$f_k$	$k$	$N_{i,j}$	$f_k$	$k$	$N_{i,j}$	$f_k$	$k$	$N_{i,j}$	$f_k$
1	[♭,c4]	198	1	[♭,g2]	132	1	[♭,cf5]	100	1	[♭,c5]	74
2	[♭,c3]	180	2	[♭,d3]	120	2	[♭,c4]	80	2	[♭,c6]	72
3	[♭,g3]	179	3	[♭,cf5]	73	3	[♭,g4]	76	3	[♭,c4]	67
4	[♭,g4]	121	4	[♭,d4]	68	4	[♭,f4]	58	4	[♭,ff5]	45
5	[♭,g2]	112	5	[♭,g4]	67	5	[♭,ff5]	58	5	[♭,ff6]	40
6	[♭,c5]	111	6	[♭,d6]	59	6	[♭,ef2]	55	6	[♭,g5]	39
7	[♭,gs3]	99	7	[♭,c5]	57	7	[♭,gs5]	52	7	[♭,cf5]	38
8	[♭,f3]	97	8	[♭,a4]	49	8	[♭,ff4]	52	8	[♭,cf4]	38
9	[♭,gs4]	93	9	[♭,a4]	48	9	[♭,gs3]	51	9	[♭,ff4]	37
10	[♭,f4]	84	10	[♭,cf4]	46	10	[♭,bf4]	48	10	[♭,g4]	36
11	[♭,ef4]	79	11	[♭,c5]	45	11	[♭,f3]	45	11	[♭,d6]	35
12	[♭,g5]	69	12	[♭,c4]	42	12	[♭,cf4]	44	12	[♭,d5]	35
13	[♭,d4]	69	13	[♭,d4]	42	13	[♭,d5]	42	13	[♭,d4]	34
14	[♭,gs2]	68	14	[♭,d4]	39	14	[♭,bf2]	41	14	[♭,cf6]	33
15	[♭,c2]	61	15	[♭,c4]	36	15	[♭,gs4]	38	15	[♭,g3]	33
16	[♭,ef5]	58	16	[♭,ff4]	34	16	[♭,bf1]	33	16	[♭,c3]	33
17	[♭,d3]	53	17	[♭,d5]	33	17	[♭,d4]	32	17	[♭,a5]	31
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
91	[♭,bf3]	1	120	[♭,ff3]	1	95	[♭,bf3]	1	109	[♭,d1]	1
92	[♭,c3]	1	121	[♭,c4]	1	96	[♭,bf1]	1	110	[♭,d1]	1
93	[♭,bf3]	1	122	[♭,bf3]	1	97	[♭,gs4]	1	111	[♭,g2]	1
94	[♭,c1]	1	123	[♭,d3]	1	98	[♭,gf3]	1	112	[♭,c1]	1
$f_1$	198		132			100			74		
$V_m$	94		123			98			112		
$T$	2634		1871			1450			1337		
$\nu$	0.160		0.344			0.256			0.269		
Cantabile (Chopin), Danzas españolas (Granados), March of the Dwarfs (Grieg) y Regentropenprélude Sostenuto (Chopin)											

Cuadro 4.3: Tabla de notas musicales y parametros estadísticos  $F_1$ ,  $V_s$ ,  $T$  y  $\nu$

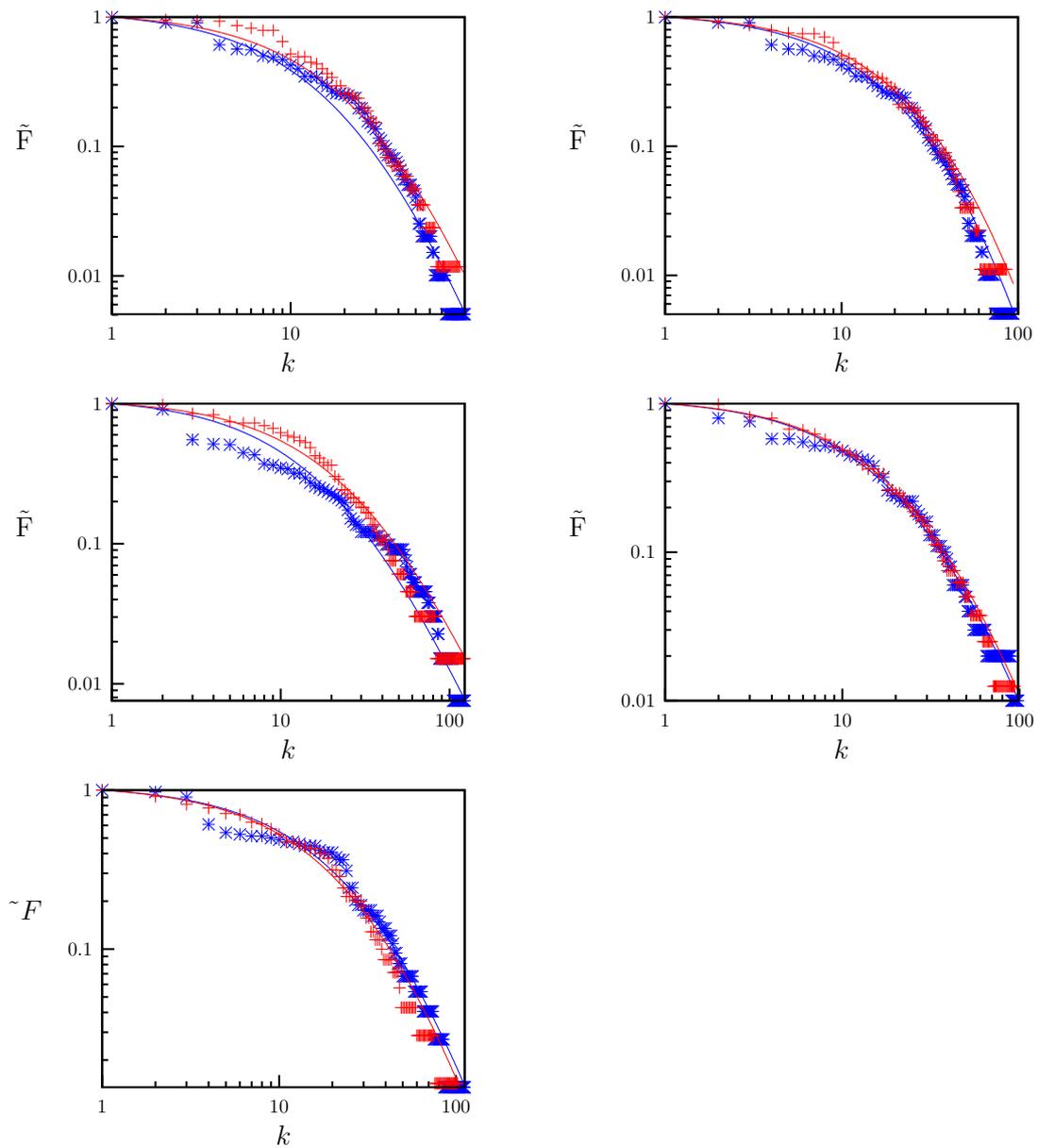


Figura 4-3: Muestra las distribuciones  $\tilde{F}$  de las series del S&P 500, Dow Jones, Nasdaq, HSI y STI superpuestas con las distribuciones  $\tilde{f}$  de las composiciones más semejantes según los parámetros  $V$  y  $\nu$ .

Norte America						Singapore			
(^GSPC)		(^DJI)		(^IXIC)		(^HSI)		(^STI)	
$[P_{i,j}]_k$	$[N_{i,j}]_k$	$[P_{i,j}]_k$	$[N_{i,j}]_k$	$[P_{i,j}]_k$	$[N_{i,j}]_k$	$[P_{i,j}]_k$	$[N_{i,j}]_k$	$[P_{i,j}]_k$	$[N_{i,j}]_k$
$[P_{2,1}]_1$	$[\downarrow,c4]_1$	$[P_{1,2}]_1$	$[\downarrow,c4]_1$	$[P_{1,1}]_1$	$[\downarrow,g2]_1$	$[P_{2,2}]_1$	$[\downarrow,cf5]_1$	$[P_{2,2}]_1$	$[\downarrow,c5]_1$
$[P_{2,2}]_2$	$[\downarrow,c3]_2$	$[P_{2,1}]_2$	$[\downarrow,c3]_2$	$[P_{2,2}]_2$	$[\downarrow,d3]_2$	$[P_{1,2}]_2$	$[\downarrow,c4]_2$	$[P_{2,1}]_2$	$[\downarrow,c6]_2$
$[P_{1,2}]_3$	$[\downarrow,g3]_3$	$[P_{1,1}]_3$	$[\downarrow,g3]_3$	$[P_{1,2}]_3$	$[\downarrow,cf5]_3$	$[P_{2,3}]_3$	$[\downarrow,g4]_3$	$[P_{3,2}]_3$	$[\downarrow,c4]_3$
$[P_{1,1}]_4$	$[\downarrow,g4]_4$	$[P_{2,3}]_4$	$[\downarrow,g4]_4$	$[P_{2,1}]_4$	$[\downarrow,d4]_4$	$[P_{2,1}]_4$	$[\downarrow,f4]_4$	$[P_{1,2}]_4$	$[\downarrow,ff5]_4$
$[P_{1,3}]_5$	$[\downarrow,g2]_5$	$[P_{3,1}]_5$	$[\downarrow,g2]_5$	$[P_{2,3}]_5$	$[\downarrow,g4]_5$	$[P_{3,1}]_5$	$[\downarrow,ff5]_5$	$[P_{2,3}]_5$	$[\downarrow,ff6]_5$
$[P_{3,1}]_6$	$[\downarrow,c5]_6$	$[P_{1,3}]_6$	$[\downarrow,c5]_6$	$[P_{1,3}]_6$	$[\circ,d6]_6$	$[P_{1,1}]_6$	$[\downarrow,ef2]_6$	$[P_{3,3}]_6$	$[\downarrow,g5]_6$
$[P_{2,3}]_7$	$[\downarrow,gs3]_7$	$[P_{2,2}]_7$	$[\downarrow,gs3]_7$	$[P_{3,2}]_7$	$[\downarrow,c5]_7$	$[P_{3,2}]_7$	$[\downarrow,gs5]_7$	$[P_{1,1}]_7$	$[\downarrow,cf5]_7$
$[P_{3,2}]_8$	$[\downarrow,f3]_8$	$[P_{3,2}]_8$	$[\downarrow,f3]_8$	$[P_{3,3}]_8$	$[\downarrow,a4]_8$	$[P_{3,3}]_8$	$[\downarrow,ff4]_8$	$[P_{1,3}]_8$	$[\downarrow,cf4]_8$
$[P_{3,3}]_9$	$[\downarrow,gs4]_9$	$[P_{3,3}]_9$	$[\downarrow,gs4]_9$	$[P_{3,1}]_9$	$[\downarrow,a4]_9$	$[P_{1,3}]_9$	$[\downarrow,gs3]_9$	$[P_{4,2}]_9$	$[\downarrow,ff4]_9$
$[P_{4,2}]_{10}$	$[\downarrow,f4]_{10}$	$[P_{1,4}]_{10}$	$[\downarrow,f4]_{10}$	$[P_{3,4}]_{10}$	$[\circ,cf4]_{10}$	$[P_{2,4}]_{10}$	$[\downarrow,bf4]_{10}$	$[P_{3,1}]_{10}$	$[\downarrow,g4]_{10}$
$[P_{4,1}]_{11}$	$[\downarrow,ef4]_{11}$	$[P_{4,1}]_{11}$	$[\downarrow,ef4]_{11}$	$[P_{5,1}]_{11}$	$[\downarrow,c5]_{11}$	$[P_{4,2}]_{11}$	$[\downarrow,f3]_{11}$	$[P_{1,4}]_{11}$	$[\downarrow,d6]_{11}$
$[P_{1,4}]_{12}$	$[\downarrow,g5]_{12}$	$[P_{4,2}]_{12}$	$[\downarrow,g5]_{12}$	$[P_{4,2}]_{12}$	$[\downarrow,c4]_{12}$	$[P_{3,4}]_{12}$	$[\downarrow,cf4]_{12}$	$[P_{2,4}]_{12}$	$[\downarrow,d5]_{12}$
$[P_{3,4}]_{13}$	$[\downarrow,d4]_{13}$	$[P_{3,4}]_{13}$	$[\downarrow,d4]_{13}$	$[P_{2,4}]_{13}$	$[\downarrow,d4]_{13}$	$[P_{4,1}]_{13}$	$[\downarrow,d5]_{13}$	$[P_{1,5}]_{13}$	$[\downarrow,d4]_{13}$
$[P_{2,4}]_{14}$	$[\downarrow,gs2]_{14}$	$[P_{4,3}]_{14}$	$[\downarrow,gs2]_{14}$	$[P_{4,3}]_{14}$	$[\circ,d4]_{14}$	$[P_{1,4}]_{14}$	$[\downarrow,bf2]_{14}$	$[P_{4,3}]_{14}$	$[\downarrow,cf6]_{14}$
$[P_{5,1}]_{15}$	$[\downarrow,c2]_{15}$	$[P_{2,4}]_{15}$	$[\downarrow,c2]_{15}$	$[P_{1,4}]_{15}$	$[\downarrow,c4]_{15}$	$[P_{4,3}]_{15}$	$[\downarrow,gs4]_{15}$	$[P_{4,1}]_{15}$	$[\downarrow,g3]_{15}$
$[P_{4,3}]_{16}$	$[\downarrow,ef5]_{16}$	$[P_{5,1}]_{16}$	$[\downarrow,ef5]_{16}$	$[P_{4,1}]_{16}$	$[\downarrow,ff4]_{16}$	$[P_{2,5}]_{16}$	$[\downarrow,bf1]_{16}$	$[P_{5,2}]_{16}$	$[\downarrow,c3]_{16}$
$[P_{4,4}]_{17}$	$[\downarrow,d3]_{17}$	$[P_{4,4}]_{17}$	$[\downarrow,d3]_{17}$	$[P_{1,5}]_{17}$	$[\downarrow,d5]_{17}$	$[P_{5,2}]_{17}$	$[\downarrow,d4]_{17}$	$[P_{5,1}]_{17}$	$[\downarrow,a5]_{17}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$[P_{11,4}]_{85}$	$[\circ,bf3]_{85}$	$[P_{11,7}]_{83}$	$[\downarrow,ff5]_{83}$	$[P_{16,1}]_{120}$	$[\circ,ff3]_{120}$	$[P_{13,1}]_{91}$	$[\downarrow,f2]_{91}$	$[P_{7,9}]_{99}$	$[\circ,cf3]_{99}$
$[P_{11,7}]_{86}$	$[\downarrow,c3]_{86}$	$[P_{11,9}]_{84}$	$[\downarrow,f3]_{84}$	$[P_{17,5}]_{121}$	$[\downarrow,c4]_{121}$	$[P_{14,1}]_{92}$	$[\downarrow,df5]_{92}$	$[P_{2,9}]_{100}$	$[\circ,g1]_{100}$
$[P_{12,1}]_{87}$	$[\downarrow,bf3]_{87}$	$[P_{12,1}]_{85}$	$[\circ,bf3]_{85}$	$[P_{19,4}]_{122}$	$[\downarrow,bf3]_{122}$	$[P_{14,4}]_{93}$	$[\downarrow,f4]_{93}$	$[P_{14,2}]_{101}$	$[\circ,gs2]_{101}$
$[P_{5,8}]_{88}$	$[\downarrow,c1]_{88}$	$[P_{15,3}]_{86}$	$[\downarrow,c3]_{86}$	$[P_{21,4}]_{123}$	$[\circ,d3]_{123}$	$[P_{18,4}]_{94}$	$[\downarrow,c2]_{94}$	$[P_{15,3}]_{102}$	$[\circ,ff2]_{102}$

Series financieras:  
S&P 500 (^GSPC), Dow Jones (^DJI), Nasdaq (^IXIC), Hang Seng (^HSI)  
y Straits Times (^STI)

Cuadro 4.4: Tabla de equivalencias entre picos y notas

En la tabla de transformación 4.4 se puede notar que los patrones menos frecuentes son los más largos y son representados en la melodía con las notas menos frecuentes en la composición que a su vez suelen tener las duraciones más largas. En cada una de las Melodizaciones para cada serie financiera podemos notar como las notas menos frecuentes o con mayor duración suelen ocurrir al principio y al final de algunos años. Lo cual evidencia que los patrones menos frecuentes se ubican entorno al comienzo y final de algunos años.

# Capítulo 5

## Melodización de una serie aleatoria

La dinámica de las series financieras están regidas por una gran cantidad de procesos muy complejos que involucran factores económicos, políticos, ambientales, etc, correlacionados entre si y que muestran cierto grado de causalidad. Es por ello que no se pierde la esperanza de poder hacer algún tipo predicción sobre el comportamiento de estas series. Este trabajo es un nuevo enfoque en este sentido. Un test sobre la capacidad de nuestro método para detectar causalidad consiste en comparar subjetivamente la melodización de las series financieras con la Melodización de una serie de tiempo generada aleatoriamente. La serie aleatoria que melodizaremos es construida como la secuencia de valores arrojados por un generador de números aleatorios entre 0 y 1, simulando el transcurso de 21 años de transacciones. Al igual que con las series financieras se obtiene la jerarquía de los picos, se busca la composición mas afin y se calculan los parámetros estadísticos de ambas (ver Tabla 5.1). La figura (5-1) muestra la distribución  $\tilde{F}$  de la serie aleatoria, superpuesta con la distribución de la composición mas afín que resulto ser Fairy Dance del compositor Grieg.

En la tabla (5.1) al igual que en la tabla (4.4) de las series financieras se observa que los patrones menos frecuentes son los más largos y son representados en la melodía con las notas menos frecuentes en la composición que a su vez suelen tener las duraciones más largas. Pero a diferencia de las series financieras en la Melodización para cada serie aleatoria podemos notar como las notas menos frecuentes o con mayor duración no ocurren al principio y al final de los años. Lo cual evidencia que en las serie

Serie aleatoria			Fairy Dance		
$k$	$P_{i,j}$	$F_k$	$k$	$P_{i,j}$	$f_k$
1	$P_{1,1}$	442	1	[ ♯, ff4 ]	55
2	$P_{1,2}$	335	2	[ ♭, cf5 ]	52
3	$P_{2,1}$	321	3	[ ♯, g4 ]	46
4	$P_{2,2}$	295	4	[ ♯, cf5 ]	38
5	$P_{3,1}$	197	5	[ ♯, cf4 ]	34
6	$P_{1,3}$	181	6	[ ♭, bf4 ]	32
7	$P_{2,3}$	177	7	[ ♭, gf5 ]	29
8	$P_{3,2}$	146	8	[ ♭, ff5 ]	29
9	$P_{3,3}$	86	9	[ ♯, ff5 ]	26
10	$P_{4,1}$	74	10	[ ♯, gf4 ]	26
11	$P_{4,2}$	69	11	[ ♯, cf6 ]	21
12	$P_{1,4}$	68	12	[ ♯, g3 ]	21
13	$P_{2,4}$	55	13	[ ♯, cf3 ]	21
14	$P_{3,4}$	45	14	[ ♯, df4 ]	20
15	$P_{4,3}$	28	15	[ ♯, d5 ]	20
16	$P_{1,5}$	21	16	[ ♭, g4 ]	19
17	$P_{4,4}$	18	17	[ ♭, df5 ]	18
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
37	$P_{6,5}$	1	37	[ ♭, d4 ]	5
38	$P_{7,1}$	1	38	[ ♯, c5 ]	5
39	$P_{5,6}$	1	39	[ ♭, gf4 ]	4
40	$P_{7,3}$	1	40	[ ♭, cf4 ]	4
$F_1$	442			55	
$V_s$	40			56	
$T$	2658			730	
$\nu$	0.041			0.030	

Cuadro 5.1: Ocurrencia de: los tipos de picos de la serie aleatoria y notas de la composición Fairy Dance y sus respectivos parametros estadisticos  $F_1$ ,  $V_s$ ,  $T$  y  $\nu$

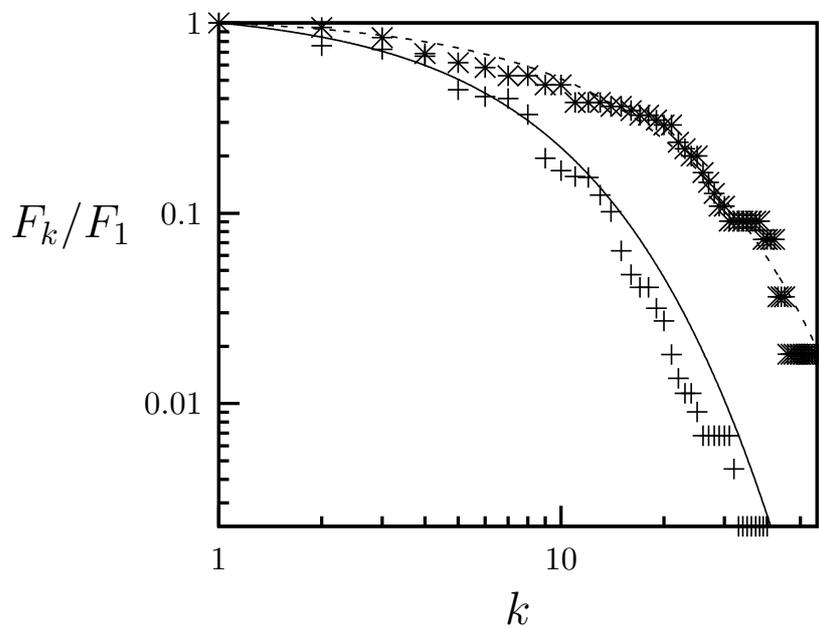


Figura 5-1: La línea continua representa el mejor ajuste de curva para la distribución de picos aleatorios con un  $\nu = 0,041$  y la línea punteada para la distribución de notas de la composición Lyric Pieces Book I, Opus 12 (1867)N 4 - Fairy Dance del compositor Grieg con un  $\nu = 0,030$

financiera existe una dinamica responsable de que los fenomenos menos frecuentes se encuentren en torno al inicio o al final de los años. Estos resultados se pueden escuchar y aprciar en el CD adjunto a esta tesis que contiene las melodizaciones para compara las financieras y las aleatorias: En Windows las podrá escuchar y observa el transcurrir de los años, ejecutando el archivo Melodizaciones\_Win.exe, en Linux ejecutando Melodizaciones\_Linux.html y en Mac OS (sistema operativo Macintosh) ejecutando Melodizaciones\_Mac.hqx

# Capítulo 6

## Conclusiones

Se desarrollo un método determinista que traduce unívocamente la secuencia de datos numéricos de una serie temporal en una secuencia de sonidos. Para diferenciar nuestro método de otros métodos de sonificación lo hemos denominado “melodización de series temporales”. El procedimiento se basa en la analogía que establecemos entre la distribución de ocurrencias de patrones en la serie temporal y la correspondiente distribución de notas en una composición musical. Ambas distribuciones obedecen a una ley de Zipf generalizada, de lo cual nos servimos para establecer la analogía y caracterizar las series. Una vez que se estableció el tipo de patrones a codificar, las series financieras se recodifican y se caracteriza a través del tamaño  $\frac{1}{2}$  del léxico (numero de patrones diferentes en la serie) y el exponente de Zipf. Para la contraparte musical se creó una biblioteca de 217 composiciones para piano que exhiben una variedad de tamaños  $\frac{1}{2}$ s de léxico y exponentes de Zipf.

Este procedimiento se aplico para melodizar las series financieras del Dow Jones Industrial Average in ( $\hat{DJI}$ ), Nasdaq Composite ( $\hat{IXIC}$ ), S&P 500 index ( $\hat{GSPC}$ ) (Norte Americanas) y series financieras del Hang Seng Index ( $\hat{HSI}$ ) y Straits Times Index ( $\hat{STI}$ ), (Singapur). La composición más afín a las series Dow Jones y S&P 500 es la pieza de Chopin Cantabile; Danzas españolas de Granados es la composición afín al Nasdaq; Marzo de los Enanos de Grieg para el Hang Seng Index; y Regentropenprelude Sostenuto de Chopin para el Straits Times Index. Como era de esperarse, mientras mayor es la volatilidad de las acciones contenidas en un índice financiero

mayor es el exponente  $\nu$  que la caracteriza. También se observó, o mejor dicho se escuchó, que los patrones con mayor longitud de datos son los más infrecuentes y la técnica melodizadora los asocia a las notas de mayor duración. Estos patrones y notas inusuales indican la presencia de periodos de ganancia o pérdida sostenida.

La utilización de este procedimiento como método auditivo de análisis y predicción va más allá de los objetivos de esta tesis. Sin embargo, hemos constatado subjetivamente que la melodización de estas series permite diferenciar unas de otras, lo cual indica que este método podría ser útil para captar patrones en las dinámicas financieras que yacen ocultas ante el sentido de la vista. Estas apreciaciones subjetivas pueden ser corroboradas en trabajos futuros donde se diseñen experimentos en los que grupos de personas sean expuestos a las melodías financieras para luego evaluar si se incrementa la capacidad extraer información y predecir comportamientos de la dinámica financiera. Por último, hay que destacar que a pesar de que en este trabajo la melodización fue aplicada a series financieras, esta nueva técnica puede ser aplicada a cualquier serie de datos.

# Bibliografía

- [1] Montemurro, M. A. and Zanette, D. H. (2002). New perspectives on Zipf's law in linguistics: From single texts to large corpora. *Glottometrics*, 4, 86-98.
- [2] Zanette, D. H. (2004). Zipf's law and the creation of musical context. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Instituto Balseiro, 8400 Bariloche, Río Negro, Argentina.
- [3] Goddard space flight center space physics data facility (<http://spdf.gsfc.nasa.gov/research/sonification/documents/Chapter1.pdf>)
- [4] Burton G. Malkiel. *A Random Walk Down Wall Street: The Time-Tested Strategy for Successful Investing*, Ninth Edition, 108-109
- [5] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Spooky Sound (<http://www.jpl.nasa.gov/multimedia/sounds/sounds-10-27-05.swf>)
- [6] Dušan Kovář. (2002). Generation of music Sequences through the logistic iterative maps, Department of Theoretical Physics, Faculty of Science, Palacký University, Tr. 17. listopadu 50, CZ-77207 Olomouc, Czech Republic (<http://publib.upol.cz/obd/fulltext/Physica-40-41/acta3.pdf>).
- [7] Julien Clinton Sprott, *Chaos and Time-Series Analysis* (Paperback - Mar 2003)
- [8] Rick Decker and Stuart Hirshfield. *programming.java: An Introduction to Programming Using Java*, Second Edition: *An Introduction to Programming Using Java*, 2nd (Paperback - Dec 24, 1999).

- [9] Ricard V. Solé - Susana C, Manrubia. Orden y caos en sistemas complejos.
- [10] Andrew Sorensen and Andrew Brown. Music composition in Java  
(<http://jmusic.ci.qut.edu.au>)
- [11] Yahoo Finance, HANG SENG INDEX (<http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5EHSI>),  
STI (<http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5ESTI>), DOW JONES INDUSTRIAL  
AVERAGE IN (<http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5EDJI>), NASDAQ COM-  
POSITE (<http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5EIXIC>), S&P 500 INDEX  
(<http://finance.yahoo.com/q/hp?s=%5EGSPC>).