

Identificación de rasgos en el estilo musical de las sonatas para teclado de Domenico Scarlatti por medio de herramientas matemáticas y tecnológicas

*Identifying features on the style
of Domenico Scarlatti's harpsichord sonatas
by means of technological and mathematical tools*

*Por: Antonio Tudurí Vila y Bartomeu Serra Cifre,
Docentes Universitat Illes Balears y
Albert Díaz
Docente Conservatorio Superior de Música de las Islas Baleares*

Recibido 07/27/2012; aceptado 08/28/2012

*"La matemática es música para la mente;
la música es matemática para el alma." (Anónimo)*

Resumen

El estilo musical del enorme catálogo musical de sonatas para clave de Domenico Scarlatti (555 catalogadas por Ralph Kirpatrick) ha sido identificado por diferentes especialistas como barroco, como precursor del clasicismo, o como creador de un estilo musical propio basado en sus propias experiencias con la música popular española. En cualquier caso es difícil extraer una opinión común y objetiva entre dichos especialistas. En el presente artículo, extrayendo indicadores de bajo nivel (porcentaje de uso de cada nota y porcentajes de uso de los diferentes intervalos melódicos posibles) de 390 sonatas a partir de su formato MIDI y comparándolas por medio de técnicas estadísticas (análisis discriminante) con dos muestras de piezas musicales barrocas y clásicas, se obtiene un resultado cuantificable y objetivo de la distancia a cada estilo, que sitúa el catálogo de sonatas analizado como más próximo al clasicismo respecto al barroco en una proporción del 70%.

Palabras clave: Extracción de información musical asistida por ordenador, análisis musical, clasificación estadística de género musical.

Abstract

The musical style of the huge catalog of sonatas for harpsichord by Domenico Scarlatti (555 cataloged by Ralph Kirkpatrick) has been identified by various experts as Baroque, as the forerunner of classicism, or as the creator of a personal musical style based on their experiences with Spanish popular music. In any case it is difficult to identify a common and objective opinion among these experts. In this paper, extracting low-level indicators of 390 sonatas (rates of use of each note and use rates of all possible melodic intervals) using their MIDI format and comparing them using statistical techniques (discriminant analysis) with two samples of baroque and classical musical pieces, it gets a quantifiable and objective result of the distance to each style that puts the catalog of sonatas analyzed as closer to the Classicism on a ratio of 70%.

Key words: Computer assisted music information retrieval, Musical analysis, statistic genre classification.

Introducción

Esta sección explica en detalle el problema analizado así como los trabajos realizados en este campo hasta la fecha.

Identificación del problema

Las opiniones de diferentes especialistas respecto a las características e influencias recibidas por Domenico Scarlatti y plasmadas en sus 555 sonatas para clave son dispares (ver sección "Revisión de investigaciones relacionadas" más adelante en este artículo). Debido a las particularidades históricas y biográficas de la vida de Domenico Scarlatti, pueden identificarse en sus sonatas influencias barrocas así como nuevas ideas compositivas que anuncian la llegada del clasicismo musical. Incluso se identifican en ellas elementos muy personales extraídos de la música folclórica española.

En cualquier caso, ninguna referencia consultada ofrece una cuantificación objetiva de dichas influencias ni del momento en que se hacen visibles, de hecho la musicología tradicional rara vez cuantifica las observaciones y hechos constatados.

Aceptando su obra como una transición entre el Barroco y el Clasicismo, el presente artículo, utilizando métodos matemáticos y estadísticos aplicados a los porcentajes de uso de los diferentes intervalos musicales posibles de cada sonata (obtenidos a partir de versiones MIDI de sus sonatas por medio de una aplicación informática AN_MID v4.1 desarrollada por los autores), realiza una cuantificación de cuanto se parece cada sonata a los estilos musicales Barroco y Clásico.

En la teoría musical un intervalo melódico identifica la distancia (medida en tonos y semitonos) que hay entre dos notas¹ por ejemplo, cualquier par de notas que disten en distancia de 2 tonos (4 semitonos) será considerado una 3ª Mayor independiente de cuales sean las notas que forman el intervalo. En el método propuesto, las notas que intervienen en el intervalo sí que son consideradas. De este modo, las 12 notas existentes generarán 144 intervalos melódicos posibles (calculando 12^2).

La Tabla 1 establece la relación entre los nombres de las notas en el sistema tonal y los identificadores utilizados en la terminología utilizada en este estudio.

¹ Consultar [http://es.wikipedia.org/wiki/Intervalo_\(música\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Intervalo_(música)) para una explicación más detallada.

Nombre Nota ²	C	D	F	G	A	E
	#	#	#	#	#	
Nombre establecido	1	2	4	5	6	7
	+	+	+	+	+	

Tabla 1: Nombres de notas utilizados en el estudio después de transportar cada pieza a la tonalidad de Do Mayor.

Un intervalo melódico es un par de notas interpretadas consecutivamente en una línea melódica. La Figura 1 (a modo de ejemplo muy conocido) muestra los intervalos melódicos del motivo musical de la 5ª Sinfonía de Beethoven.

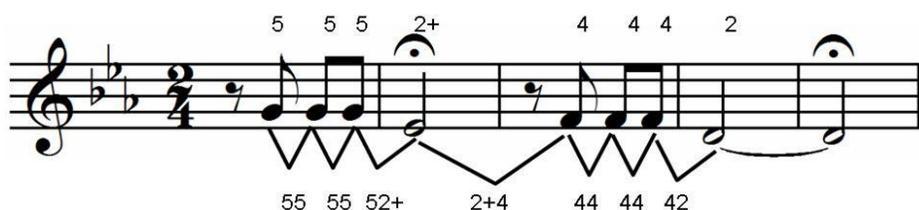


Figura 1: Intervalos melódicos detectados en los primeros compases de la 5ª Sinfonía de Beethoven.

En la tonalidad del primer movimiento de la 5ª Sinfonía de Beethoven, (Do menor), la nota C corresponde al identificador "1", C# al "1+", D al "2" ... B al "7". De este modo, en este motivo aparecen dos ocurrencias del intervalo 55, dos del 44 y una ocurrencia de cada intervalo 52+, 2+4 y 42.

El estándar MIDI no permite notas enarmónicas, por lo tanto un Do# y un Reb serán almacenados del mismo modo³.

El desarrollo de métodos matemáticos para clasificar piezas musicales en base a diferentes criterios ha sido un campo el cual las soluciones desarrolladas han llegado hasta la fecha a clasificar piezas musicales en base a su estilo. Sin embargo dichas soluciones han clasificado piezas en base a su género musical de manera muy generalista (clásica, funk, rock, etc.). Otras han clasificado piezas entre diferentes compositores concretos distantes en estilo y época analizando el uso de acordes, aunque se reconoce que dicho algoritmo de identificación de acordes no funciona si no se identifican 3 notas simultáneamente.

Este artículo propone clasificar 390 sonatas de Domenico Scarlatti (en total compuso 555 sonatas) utilizando un nuevo método basado en el análisis del

² Identificadores anglosajones.

³ Consultar Anonymous, n.d., "Standard MIDI File (SMF) Format"

<http://www.blitter.com/~russtopia/MIDI/~jglatt/tech/midifile.htm>, descargado en Septiembre de 2009

porcentaje de uso de cada nota y cada intervalo utilizado con respecto al total de notas e intervalos identificados en cada sonata, para clasificar las sonatas para clave de Scarlatti en formato MIDI en base a su proximidad a los valores de las muestras de cada época musical (Barroco y Clásico) independientemente de la tonalidad y la duración de las mismas.

En general, el método propuesto en este artículo podrá ser utilizado para cuantificar numéricamente en qué medida un compositor incorpora en sus obras influencias de otros compositores clasificando sus obras en base a una muestra de obras musicales de los compositores que aportan su influencia en el primero.

Revisión de investigaciones relacionadas

Este apartado del artículo fundamenta el hecho de la inexistencia de una opinión común sobre las características del estilo compositivo de Scarlatti en base a opiniones de diferentes fuentes y especialistas en la materia. Por otra parte resume, los trabajos e investigaciones similares de clasificación de estilos musicales utilizando técnicas matemáticas.

A modo de referencia biográfica, es interesante exponer que a Domenico Scarlatti se le ofreció trabajar en la corte portuguesa para impartir música y clavicémbalo a la princesa Bárbara de Braganza. Cuando Bárbara se casó con Fernando VI de España, Domenico se trasladó con ella a España en 1729.

La falta de material para realizar su función pedagógica, además de la pasión que sentía por este instrumento, le motivó a escribir sus sonatas para clavicémbalo (según el catálogo de Ralph Kirkpatrick 555 sonatas). Fueron escritas en un solo movimiento, presentando una estructura bipartita, es decir dos secciones claramente definidas, de las cuales una o ambas se repiten.

Es ampliamente conocido que Scarlatti fue un virtuoso del clavicémbalo, por ese motivo buscó nuevos elementos inimaginables en su época. Sus nuevos conceptos sobre un tipo de digitación mucho más avanzado que la mayoría de sus contemporáneos, son evidentes, ya que de lo contrario muchas de sus sonatas habrían sido intocables. Una serie de características en estas obras las hace diferentes; J. García Pérez⁴ las define "(...) *la frescura, la espontaneidad, la luminosidad de estas composiciones, distintas de todas las demás, tanto anteriores como posteriores, por sus especiales características*". Estas grandes diferencias con las demás composiciones hacen aparecer afirmaciones tan dispares como, que sean consideradas dentro de un estilo Barroco, Roger Alier⁵ identifica la música de Scarlatti del siguiente modo "*La música de Scarlatti nos*

4 García Pérez J. (1989), "Maestros de la música". Notas al disco Scarlatti, sonatas para clavicémbalo, Planeta- De Agostini S.A, Barcelona.

⁵ Alier R. (1985), "Conocer y reconocer la música". Domenicoscarlatti. , 1985, Ediciones Daimon, Barcelona, ISBN: 84-231-2843-1.

obliga a situarlo en un término propio: el de música galante..”u otros como, “Scarlatti crea la forma del primer y tercer tiempo de la sonata clásica, se le podría describir como el primer compositor clásico”.

El hecho de vivir en España, alejado de los movimientos musicales de Italia, Francia y centro de Europa, hizo que su estilo musical evolucionase de una manera muy personal. Denis Matthews⁶ opina que “... *no hay duda de que Scarlatti desarrolló un estilo totalmente nuevo para el teclado,..”*, además se sintió muy atraído de las melodías y ritmos de la música popular española que aparecen de una manera muy notable en su música.

Tras exponer referencias que sitúan sus sonatas en el estilo barroco, música galante o el primer compositor clásico, pueden encontrarse otras afirmaciones como las de Bülow“(...) *encontramos en algunas páginas los signos precursores de Beethoven.*” que incluso atribuye un mayor mérito como precursor musical. Otras fuentes definen a Scarlatti como un compositor prerromántico, por su sentido sinfónico en el diálogo de las partes en contraste, por el choque de movimientos vivos con las tonalidades menores, variaciones diversamente coloridas y trazadas.

Respecto a la búsqueda de otros proyectos de investigación para clasificar piezas musicales por estilo en base a patrones de comportamiento desarrollados en los últimos años podemos decir lo siguiente:

Los trabajos de investigación similares en esta área, pretenden a partir de ficheros en formato MIDI extraer parámetros de diferentes aspectos más generales y conceptualmente dispares con el objetivo de identificar patrones que permitan identificar automáticamente estilos musicales. McKay y Fujinaga⁷, a partir de parámetros relacionados con la instrumentación, textura, ritmo, variaciones dinámicas etc. extraídos de los ficheros MIDI, y con la aplicación de un sistema experto ACE (AutomaticClassificationEngine) clasifican piezas musicales por género (Clásico, Jazz, tango, salsa, Funk etc.). Su trabajo se basa en el desarrollo de la aplicación jSymbolic desarrollada en Java que extrae las características que les interesan de cada archivo MIDI.

Un año más tarde los mismos autores⁹ tratan el mismo problema de identificación del género musical pero añadiendo como variables de estudio acordes y un estudio de los patrones rítmicos.

⁶Matthews D. (1ª Ed. 1972/1991), La música para teclado. (Título original keyboard music - Penguin books, 1972),Taurus ediciones, S.A. ,Madrid,ISBN:84-306-5607-3.

⁷McKay C.,Fujinaga I. (2005), “Automatic music classification and the importance of instrument identification”, Proceedings of the International Computer Music Conference.

⁸McKay C.,Fujinaga I. (2006), “jSymbolic: A feature extractor for MIDI files”, Proceedings of the International Computer Music Conference 2006, pp302-5

⁹McKay, C., and I. Fujinaga (2007), “Style-independent computer-assisted exploratory analysis of large music collections”, Journal of Interdisciplinary Music Studies 1 (1).pp. 63–85.

En 1979, Fred. T.Hofstetter¹⁰ realizó un investigación para identificar rasgos diferenciales en melodías de cuartetos de cuerda de las escuelas checa (Dvorak y Smetana), francesa (D'Indy y Saint-Saëns) rusa (Borodin y Tchaikovsky) y alemana (Mendehssohn y Schumann) del siglo XIX a partir del análisis por medio de la comparación de las funciones de distribución de las frecuencias de intervalos melódicos utilizados comparado con la función de distribución de la función ji-cuadrado (distribución de Pearson¹¹).

Dicho enfoque se diferencia del presentado en este artículo en que Hofstetter sólo analiza los intervalos aparecidos en las melodías mientras que el presente estudio lo hace a partir de la totalidad de la obra. Otra diferencia importante es que Hofstetter clasifica los intervalos melódicos sin tener en cuenta la tonalidad de la obra (2ª Mayor, 3ª menor, 3ª Mayor, y todos los más distantes a una 6ª disminuída los agrupa en un sólo tipo) y también estudia intervalos de segundo orden (entendidos como una pareja de intervalos de 1er orden) así como la dirección (ascendente o descendente de los mismos).

El presente estudio se diferencia además del de Hofstetter en que no considera la dirección de los intervalos, y que considera todos los intervalos melódicos posibles en un sentido absoluto respecto a la tonalidad (ver Figura 1) y que la herramienta matemática utilizada para realizar la clasificación es el análisis multivariante con función lineal

Otra aportación añadida del método presentado en este artículo es que es aplicable a piezas musicales completas, de cualquier forma musical y orquestación.

Tzanetakis, Ermolinskyi y Cook¹² en su estudio de 2004 clasifican piezas por estilo musical (clásico, jazz, pop etc.) a partir de las frecuencias relativas de aparición de cada nota (12 en el sistema tonal) a partir de material musical en formato MIDI.

Heng-TzeCheng, Yi-Hsuan Yang y Yu-ChingLin¹³ proponen en su método utilizar histogramas de uso de acordes en piezas musicales para clasificarlas en base a a una clasificación de emociones (ira, felicidad, tristeza).

Ferkova E., Ždimal M., Šidlik P.¹⁴ proponen el estudio de estilos compositivos de

¹⁰ Hofstetter F.T. (1979), "The Nationalist Fingerprint in Nineteenth Century Romantic Chamber Music". in Computers and the Humanities 13, North-Holland Publishing Company. pp 105-119.

García Pérez J. (1989), "Maestros de la música". Notas al disco Scarlatti, sonatas para clavicémbalo, Planeta- De Agostini S.A, Barcelona.

¹¹ Consultar http://es.wikipedia.org/wiki/Distribución_Chi2 para un mayor detalle.

¹² Tzanetakis G. Ermolinskyi A, y Cook P. (2003), "Pitch histograms in audio and symbolic music information retrieval", Journal of New Music Research, June 2003, Volume 32, Issue 2, pages 143 - 152.

¹³ Cheng H., Yang Y., Lin Y., Liao I., y Chen H.H. (2008), "Automatic chord recognition for music classification and retrieval", IEEE International Conference on Multimedia & Expo 2008.

¹⁴ Ferkova E., Milan Ž. y Šidlik P. (2008), "Tonal Theory for the Digital Age", ISBN-13: 978-0-936943-17-6.

Mozart, Schubert y Brahms a partir del estudio de las frecuencias de uso de los diferentes acordes de 3 y 4 notas desde una perspectiva armónica. Este artículo también propone un algoritmo para identificar la tonalidad de cada pieza musical. Esta investigación tiene similitudes con el método propuesto en este artículo porque intenta identificar diferencias entre compositores clásicos (Brahms, Schubert y Mozart) más allá de los resultados de una clasificación de género musical propuesta anteriormente.

R. Typke en su tesis doctoral investiga las posibilidades de extracción de información a partir de la similitud de las melodías utilizadas en diferentes estilos musicales.

También P. Ponce e J.M. Iñesta¹⁵ analizan mediante herramientas estadísticas la posibilidad de identificar patrones que permitan clasificar piezas musicales en base a su género musical.

Cruz-Alcázar, P. P., E. Vidal, y J. C. Pérez-Cortes¹⁶ también plantean un trabajo para identificar estilos musicales pero ellos plantean la utilización de técnicas de inferencia gramatical para resolver el problema.

Tudurí, Serra y Company¹⁷ utilizan la herramienta estadística "análisis multivariante" para clasificar piezas musicales en formato MIDI de los estilos Barroco, Clásico y Romántico a partir del porcentaje de uso de cada una de las 12 notas del sistema tonal y de los 144 posibles intervalos melódicos. En dicho estudio consiguen unas tasas de éxito del 90% para piezas clásicas de F.J.Haydn y W.A.Mozart y de un 80% para piezas barrocas.

El presente trabajo se diferencia de los anteriores en que se focaliza y amplía el nivel de detalle en el estudio de la tesitura, las frecuencias de notas aparecidas y las frecuencias de intervalos melódicos utilizados en una época y estilo más concreto, y no se tienen en cuenta factores de interpretación y dinámica por ser considerarlos que estos están muy ligados a los criterios y gustos de interpretación de cada época.

Objetivo de la investigación

El objetivo del estudio presentado en este artículo es aplicar un método estadístico conocido que permita clasificar 390 sonatas de Domenico Scarlatti a partir de elementos musicales básicos tales como el número de intervalos

¹⁵Ponce de Leon, P. J., y Iñesta J. M. (2004), "Statistical description models for melody analysis and characterization.", Proceedings of the International Computer Music Conference, 2004, pp. 149-56.

¹⁶ Cruz-Alcázar, P. P., Vidal E. y Pérez-Cortes J. C. (2003), "Musical style identification using grammatical inference", CIARP 2003. pp. 375-382

¹⁷Tudurí A., Serra B. and Company J. (2011), "Un nuevo método de clasificación de piezas musicales clásicas utilizando indicadores objetivos de bajo nivel", Diciembre 2011, Revista "El artista" nº 8, ISSN 1794-8614, pp 135-152.

utilizados de cada uno de los 144 existentes y el número de notas utilizadas de cada una de las 12 posibles según el sistema tonal (etiquetadas como C,C#,D,D#,E,F,F#,G,G#,A,A#,B en el sistema anglosajón).

Dichos valores serán considerados en su cantidad porcentual respecto al total de intervalos y notas identificadas en cada pieza musical. De este modo se puede considerar en las muestras de piezas analizadas piezas de diferente duración, orquestación y magnitud.

Tanto en las muestras de piezas barrocas y clásicas como en la muestra de sonatas de Scarlatti sólo han sido consideradas piezas compuestas en modo Mayor. De este modo garantizamos la comparabilidad de los intervalos generados a partir de las notas 3 (Mediante) y la nota 6 (Superdominante), ya que las escalas mayores y menores difieren en las notas que las componen en dichos grados¹⁸.

Metodología

Esta sección del artículo define las herramientas utilizadas en el desarrollo de la investigación así como una explicación detallada de los conjuntos de piezas musicales utilizadas en las muestras.

Procedimientos

La principal aportación tecnológica para este estudio ha sido el desarrollo de la aplicación informática AN_MID v4.1; programa informático que extrae de cada pieza analizada (en formato MIDI) las frecuencias de aparición de cada nota y de cada intervalo melódico posible.

*Aspectos relevantes del formato MIDI y su proceso por la aplicación AN_MID v4.1.*¹⁹²⁰²¹

La aparición del sintetizador digital a finales de la década de 1970 trajo consigo el problema de la incompatibilidad de los sistemas que usaba cada compañía fabricante. De este modo se hacía necesario crear un lenguaje común por encima de los parámetros que cada marca iba generando a lo largo del desarrollo de los distintos instrumentos electrónicos puestos a disposición de los profesionales del sector.

El estándar MIDI fue inicialmente propuesto en un documento dirigido a la Audio Engineering Society por Dave Smith, presidente de la compañía

¹⁸ Consultar "http://es.wikipedia.org/wiki/Modo_mayor" y "http://es.wikipedia.org/wiki/Modo_menor" para una explicación más detallada.

¹⁹ Anonymous, February 2006, "(.mid) Standard MIDI File Format", <http://faydoc.tripod.com/formats/mid.htm>, descargado en Septiembre de 2009.

²⁰ Anonymous, n.d., "Standard MIDI File (SMF) Format", <http://www.blitter.com/~russtopia/MIDI/~jglatt/tech/midifile.htm>, descargado en Septiembre 2009.

²¹ Wikipedia, n.d., "MIDI Standard Definition", <http://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>

SequentialCircuits en 1981. La primera especificación MIDI se publicó en agosto de 1983.

Cabe aclarar que MIDI no transmite señales de audio, sino datos de eventos y mensajes controladores que se pueden interpretar de manera arbitraria, de acuerdo con la programación del dispositivo que los recibe. Es decir, MIDI es una especie de "partitura" que contiene las instrucciones en valores numéricos (0-127) sobre cuándo generar cada nota de sonido y las características que debe tener; el aparato al que se envíe dicha partitura la transformará en música completamente audible.

El estándar MIDI utiliza hasta 16 canales diferentes simultáneamente (también llamados voces, o instrumentos); Cada canal tendrá identificado previamente un timbre (flauta, violín, piano, clavecín, etc.), y todo el material sonoro enviado a él será reproducido con dicho timbre. Generalmente secuenciando obras clásicas, cada instrumento se asigna a un canal diferente.

En el caso de procesar partituras para piano, el material musical estará almacenado en un único canal MIDI o como máximo en 2 canales (material de la mano izquierda y derecha respectivamente). El programa está diseñado para identificar con un alto grado de fiabilidad las líneas melódicas e identificar correctamente los intervalos melódicos detectados.

Funcionamiento de la aplicación AN_MID v4.1.

La aplicación AN_MID v4.1 está desarrollada en C++ para garantizar la portabilidad entre plataformas (Linux, Unix, Windows etc.). Toma como entrada un conjunto de piezas musicales en formato MIDI y extrae de cada una de ellas la frecuencia de utilización de cada nota, el porcentaje de distribución de las notas de la pieza musical en cada una de las 11 octavas que permite el formato MIDI y la frecuencia de utilización de cada uno de los 144 intervalos melódicos posibles (12 notas x 12 notas).

El algoritmo de detección de intervalos melódicos se basa en el criterio de proximidad para decidir qué nota (de las identificadas anteriormente que todavía no haya sido asociada a ningún intervalo), forma intervalo con la que se procesa en cada instante.

La aplicación permite procesar archivos MIDI tanto de tipo 0 como de tipo 1. Los archivos MIDI están divididos en pistas. Los archivos de tipo 0 almacenan todo el material musical en una única pista mientras que los de tipo 1 asignan generalmente una pista para cada canal MIDI. El resultado sonoro en relación con la reproducción del fichero es el mismo en ambos casos.

A modo de ejemplo, la Figura 2 muestra los intervalos melódicos detectados en los primeros 4 compases del segundo movimiento de la Sonata para piano nº 12 de W.A.Mozart.

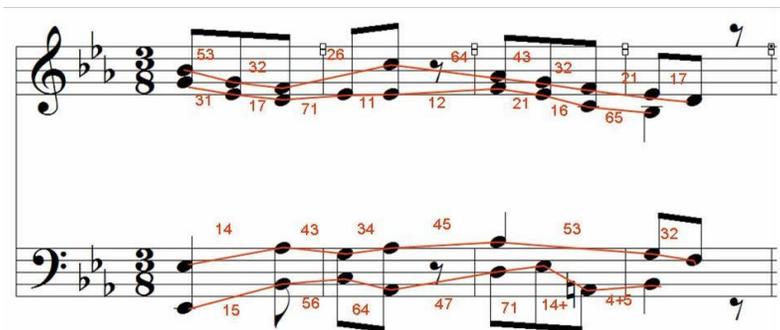


Figura 2: Intervalos melódicos detectados en los primeros 4 compases del segundo movimiento de la Sonata para piano nº 12 de Mozart (compuesto en Mib Mayor).

Resultados de la aplicación AN_MID v4.1.

Para cada una de las n piezas procesadas por el programa, se obtiene el resultado de la Figura 3:

$$MP_i = (NP_{i,1} \dots NP_{i,12}, OP_{i,1} \dots OP_{i,11}, IP_{i,1,1} \dots IP_{i,7,7}) / 1 \leq i \leq n$$

Figura 3: Datos obtenidos de la ejecución de la aplicación AN_MID v4.1.

Explicación de la nomenclatura utilizada:

- $NP_{i,j}$: (*Note Percentage*) El porcentaje de aparición en la pieza musical de la nota j respecto al total de notas identificadas en la pieza musical. Las notas son C, C#, D, D# E, F, F#, G, G#, A, A#, B, teniendo en cuenta que las notas han sido transportadas a Do Mayor, es decir, $NP_{i,1}$ contiene el número de veces que aparece la nota tónica en la pieza "j". Dicha tonalidad se extrae del fichero MIDI en su correspondiente evento MIDI.
- $OP_{i,j}$: (*OctavePercentage*) El porcentaje de notas en la partitura detectadas en la octava "j" en la pieza "i". Se ha de tener en cuenta que el estándar MIDI permite hasta 11 octavas, de las cuales un piano no las utiliza todas.
- $IP_{i,j,k}$: (*IntervalPercentage*) El porcentaje de veces que se ha detectado que la nota "j" es seguida por la nota "k" (siendo $j,k \in \{1, 1+, 2, 2+, 3, 4, 4+, 5, 5+, 6, 6+, 7\}$) en la pieza "i", respecto al total de intervalos detectados.

Estas variables extraídas del fichero MIDI o partitura permiten comparar piezas musicales de diferente duración, orquestación y construcción formal.

Dichas variables cumplirán las propiedades de la Figura 4:

$$NP_{i,j} = \sum_{k=1}^{12} IP_{i,j,k} = \sum_{k=1}^{12} IP_{i,k,j} \forall i,j / 1 \leq j \leq 12, 1 \leq i \leq n$$

$$\sum_{k=1}^{12} NP_{i,k} = 1 \sum_{k=1}^{11} OP_{i,k} = 1 \sum_{k=1}^{12} \sum_{m=1}^{12} IP_{i,k,m} \approx 1$$

Figura 4: Propiedades que cumplen las variables calculadas.

Ya que excepto la primera y la última nota almacenada en cada canal que no serán nota final ni nota inicial respectivamente de ningún intervalo melódico, todas las notas son nota final y nota inicial del intervalo que forman con la nota anterior y posterior respectivamente.

Grupos de piezas musicales utilizadas en las muestras.

En el estudio se han utilizado 390 sonatas para teclado de Domenico Scarlatti. Los ficheros MIDI han sido descargados de "Classical Archives"²². El estudio ha clasificado cada una de las 390 sonatas analizadas en dos grupos utilizando la distancia de Mahalanobis²³ entre cada sonata y el centroide de cada uno de los grupos de referencia (piezas del Clasicismo y del Barroco). Las sonatas clasificadas como más próximas al Clasicismo son aquellas cuya distancia de Mahalanobis al centroide del grupo de piezas clásicas es menor que la distancia de dicha sonata al grupo de piezas barrocas.

Las características de las 2 muestras de piezas (barrocas y clásicas) utilizadas como base para comparar cada sonata de Scarlatti con dichos grupos y decidir así a qué grupo está más próxima cada una de ellas están resumidos en la Tabla 2.

Estilo	Nº piezas	Compositor	Formas musicales incluidas en la muestra
Clasicismo	347	W.A.Mozart y F.J.Haydn	Sonatas para piano, sinfonías y cuartetos de cuerda.
Barroco	166	J.S.Bach, G.F.Händel y A.Vivaldi	Suites orquestales, piezas para teclado, conciertos, preludios, fugas y otras formas orquestales

Tabla 2: Características de las dos muestras de piezas clásicas y barrocas utilizadas para clasificar las sonatas de Scarlatti.

En la muestra de sonatas de Scarlatti no han sido incluidas las catalogas según Kirkpatrick con números 73, 77, 78, 81, 88-91, 134-139 y 453 porque no ha sido posible encontrar en Internet una versión de calidad aceptable

En la muestra de estudio tampoco han sido incluidas las compuestas en modo

²² Ficheros MIDI descargados de Classical Archives LLC, n.d., "TheUltimateClassical Music Destination", <http://www.classicalarchives.com>, descargado entre Mayo 2007 y Mayo 2010.

²³ Consultar "http://es.wikipedia.org/wiki/Distancia_de_Mahalanobis" para una explicación más detallada.

menor (145 sonatas) porque el método propuesto obliga como requerimiento previo que todas las piezas analizadas estén compuestas en modo Mayor.

Cada una de las 903 piezas analizadas ha sido editada individualmente con un editor musical Finale para garantizar que el material musical estaba almacenado correctamente; realizando en el caso de que fuera necesario las siguientes operaciones:

- Eliminación del material musical asociado a la repetición de la exposición. El formato MIDI no permite especificar repeticiones musicales, por tanto, en caso de haberlas, los compases de material musical que se repite, aparece 2 veces en el fichero MIDI. Por tanto se ha eliminado las repeticiones de material musical donde apareciera. Si esto no se hiciera, el número de notas analizadas se incrementaría enormemente ya que en el siglo XVIII Las secciones de Exposición y Desarrollo se repetían con mucha frecuencia²⁴.
- En caso de detección de errores en el material musical en formato MIDI, compararlo y corregirlo con la partitura original de la pieza (obtenida del website "Proyecto Biblioteca Internacional de Partituras Musicales (IMSLP)"²⁵).

Análisis discriminante.

La herramienta estadística utilizada para clasificar las sonatas de Scarlatti ha sido el análisis discriminante con función lineal.

Dicha herramienta ha sido ya utilizada por Tudurí, Serra y Company para clasificar piezas en base a su estilo musical (Clásico, Barroco y Romántico) utilizando como variables aleatorias el porcentaje de uso de las 12 notas del sistema tonal y de los 144 intervalos melódicos posibles con unos porcentajes de éxito del orden del 80-90% de éxito utilizando como nuestras de piezas de cada estilo sinfonías, cuartetos, suites orquestales, conciertos italianos etc.

En el estudio se han utilizado 390 sonatas para teclado de Domenico Scarlatti. Las sonatas clasificadas como más próximas al Clasicismo son aquellas cuya distancia de Mahalanobis al centroide del grupo de piezas clásicas es menor que la distancia de dicha sonata al grupo de piezas barrocas.

El análisis discriminante se utiliza para clasificar las observaciones en dos o más grupos a partir de una muestra en la cual se conocen los grupos a los que pertenece cada elemento de la muestra. El análisis discriminante también puede utilizarse también para investigar cómo contribuyen las variables a la separación de los grupos.

Como función lineal se utiliza la distancia de Mahalanobis²⁶ la cual mejora la

²⁴ Consultar "<http://es.wikipedia.org/wiki/Sonata>" para una explicación más detallada.

²⁵ URL relacionada "<http://imslp.org>"

²⁶ Consultar Wikipedia, n.d., "Distancia de Mahalanobis"

,http://es.wikipedia.org/wiki/Distancia_de_Mahalanobis para una explicación detallada.

distancia euclidiana²⁷ en que tiene en cuenta la correlación entre las variables aleatorias.

La principal condición que deben cumplir las variables aleatorias (frecuencias de uso de cada nota y frecuencias de uso de cada intervalo melódico) extraídas de los individuos (en este caso piezas musicales) es que deben poderse aproximar a una distribución normal. Ello ha sido comprobado por medio del test de Anderson-Darling.²⁸

El análisis discriminante está implementado en la mayoría de paquetes estadísticos como el SPSS, Minitab, R, etc. Los cálculos resumidos en este artículo han sido realizados con la aplicación "Minitab 15.1.20".

Resultados

El principal problema a la hora de analizar la evolución estilística a lo largo del tiempo de las sonatas es que hay muy poca información y poco fiable en relación con las verdaderas fechas de composición de cada sonata de la muestra utilizada.

Los catálogos históricamente más utilizados son los realizados por Ralph Kirkpatrick²⁹, Alessandro Longo³⁰ y Giorgio Pestelli³¹ los cuales basan su numeración en base a criterios de publicación.

La Figura 5 gráficamente la relación entre la catalogación realizada por Pestelli comparada con la realizada por Kirkpatrick. En ella se puede ver que a pesar de que la tendencia es una recta con pendiente ascendente dista mucho de coincidir.

Para realizar este estudio y ordenar cronológicamente las sonatas de la muestra se ha utilizado el estudio de Chris Hail³² el cual aproxima la fecha composición de cada sonata en un intervalo de 5 años.

²⁷ Consultar Wikipedia, n.d., "Distancia euclidiana" ,http://es.wikipedia.org/wiki/Distancia_euclidiana para una explicación detallada.

²⁸ Consultar NIST/SEMATECH, 2006, "e-Handbook of Statistical Methods" , <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm> para una explicación detallada.

²⁹ Consultar Wikipedia ,n.d., "RalphKirkpatrick" , http://es.wikipedia.org/wiki/Ralph_Kirkpatrick para una explicación detallada.

³⁰ Consultar Wikipedia, n.d., "Alessandro Longo" ,http://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Longo para una explicación detallada.

³¹ Consultar Wikipedia, n.d., "GiorgioPestelli" ,http://en.wikipedia.org/wiki/Giorgio_Pestelli, para una explicación detallada.

³²Hail C., (2010), "Domenico Scarlatti - Chronology" , <http://mysite.verizon.net/chrishail/scarlatti/chronology.html>.

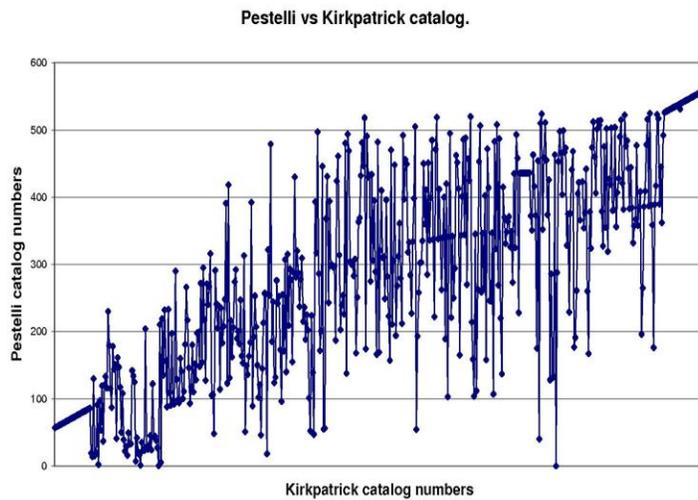


Figura 5: Relación entre la numeración de los catálogos de Kirkpatrick y Pestelli.

Analizando la Figura 6 y Figura 7 se puede comprobar que en base al trabajo de datación de Chris Hail los catálogos de Kirkpatrick y Pestelli en un intervalo de números de sonatas próximos son un compendio de sonatas de toda su vida compositiva entre 1715 hasta su muerte. También se puede comprobar que en un intervalo de tiempo definido por Hail, se encuentran sonatas de diversidad de numeración del catálogo de Kirkpatrick y Pestelli.

Figura 6: Numeración Kirkpatrick ordenados usando el catálogo de Hail.

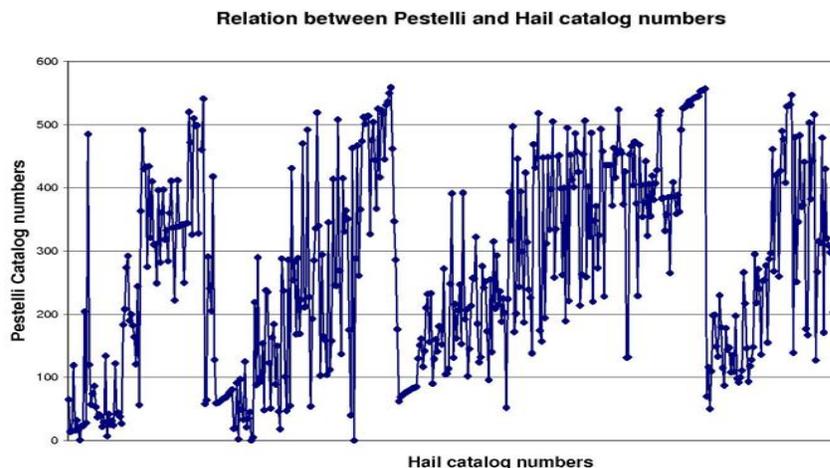


Figura 7: Numeración Pestelli ordenada usando las fechas de composición aproximadas del estudio de Hail.

Tras comparar las 390 sonatas compuestas en modo Mayor de Domenico Scarlatti por medio de Análisis Discriminante con dos muestras de piezas musicales pertenecientes los estilos Barroco y Clásico, se ha obtenido que el 66,4% han sido clasificadas como clásicas y el 33,6% como barrocas (por ser su distancia de Mahalanobis más próxima a los centroides de los grupos de piezas clásicas y barrocas).

Los valores de porcentajes de sonatas más próximas a cada estilo incrementan sus diferencias al dividir las 390 sonatas en dos grupos en base a su numeración según el catálogo Kirkpatrick. La Tabla 3 muestra dichos valores al dividir la población de sonatas analizadas en dos grupos.

% de sonatas más próximas al Barroco	...Clasicismo
Mitad inferior (sonatas de modo mayor con número K inferior al 316)	38,7%	61,1%
Mitad superior (sonatas de modo mayor con número K superior al 317)	28,5%	71,8%

Tabla 3: Porcentajes de proximidad a cada estilo dividiendo la muestra de sonatas en dos grupos en base al catálogo Kirkpatrick.

Los valores de porcentajes de sonatas más próximas a cada estilo también incrementan sus diferencias si dividimos las 390 sonatas en dos grupos en base a su numeración según el catálogo Pestelli. La Tabla 4 muestra dichos resultados.

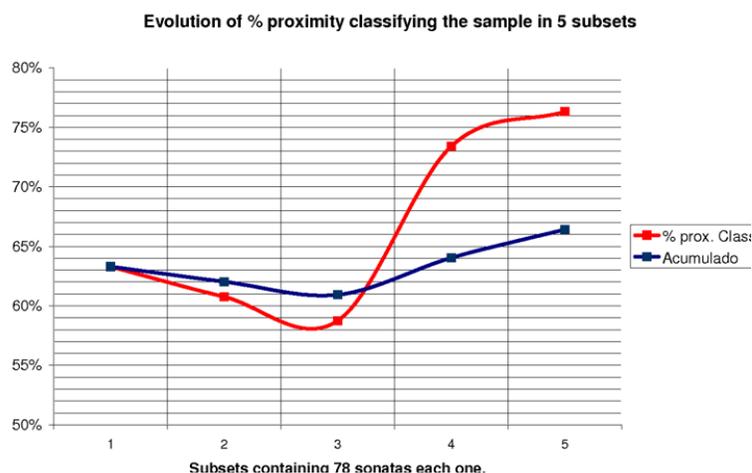
% de sonatas más próximas al Barroco	...Clasicismo
Mitad inferior (sonatas de modo mayor con número P. inferior al 286)	36,9%	63,1%
Mitad superior (sonatas de modo mayor con número P. superior al 287)	30,5%	69,5%

Tabla 4: Porcentajes de proximidad a cada estilo dividiendo la muestra de sonatas en dos grupos en base al catálogo Pestelli.

Se ha dividido también la población de sonatas analizadas ordenadas según el catálogo Kirkpatrick en 5 grupos de 78 sonatas cada uno. La Figura 8 muestra los porcentajes de sonatas más próximas a cada estilo de cada subconjunto (en base a la muestra de 347 obras clásicas utilizadas) así como el valor acumulado de porcentaje de proximidad.

Figura 8: Evolución del porcentaje de sonatas analizadas más próximo al clasicismo dividiendo la muestra en 5 grupos de 78 sonatas en base al catálogo Kirkpatrick.

También se ha dividido la muestra en 10 grupos y también se han a



nalizado las sonatas por subconjuntos en base al catálogo de Pestelli. Sin embargo, al no tratarse de catálogos ordenados cronológicamente no tiene interés profundizar en dichos catálogos.

La Figura 9 muestra los porcentajes de sonatas más próximas a cada estilo (por medio de análisis discriminante de las sonatas de cada subconjunto de sonatas de cada intervalo de tiempo) proporcionados por el estudio de Chris Hail comparados con las muestras de piezas barrocas y clásicas. A pesar de que dicho estudio enmarca cada sonata en un intervalo de 5 años, hay intervalos de 5 años en los cuales apenas hay sonatas catalogadas por lo que para distribuir aproximadamente el número de sonatas por intervalo se han utilizado los intervalos de tiempo especificados en la Tabla 5.

	1715-25	1725-30	1730-35	1735-45	1745-57
Nº de sonatas	66	34	183	47	63

Tabla 5: Periodos de tiempo analizados y el número de sonatas en cada subgrupo.

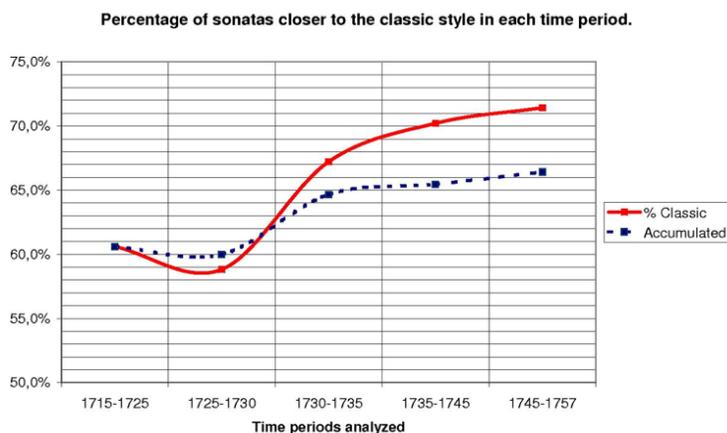


Figura 9: Porcentajes de sonatas más próximas al clasicismo en cada intervalo de tiempo analizado.

Los hechos biográficos con los que el presente estudio pretende relacionarlos con las fluctuaciones de estos porcentajes son la estancia en Italia entre 1725 y 1729 (año éste último en que se trasladó a Sevilla) y su traslado definitivo a Madrid en 1733.

La vuelta a Italia presentó un leve retorno al estilo barroco y el traslado definitivo de Scarlatti a Sevilla y Madrid marcan el periodo en el cual se pretende relacionar un marcado proceso evolutivo en su estilo compositivo hacia el Clasicismo.

Discusión

Queda demostrado en el estudio, que las frecuencias de uso de notas no son variables suficientemente discriminantes para realizar una clasificación por género aceptable.

A pesar de haber considerado el porcentaje de uso de cada nota, los resultados demuestran que dichas variables no son consideradas como discriminantes del estilo musical (la mayoría de ellas están dentro de las 10 variables con menos peso en la función lineal).

En el cálculo del número de veces que aparece un intervalo 1+7 (C#-B normalizando la tonalidad a Do Mayor), se ha considerado como eje de coordenadas la tonalidad de la pieza, no la tonalidad en la que se encuentra el intervalo en ese momento (ya que probablemente habrá modulado a otra

tonalidad). De este modo y de manera implícita, quedan consideradas las tonalidades a las que la pieza modula³³.

La heterogeneidad de las muestras en cuanto a la forma musical y a la orquestación de sus elementos avanza un paso más para identificar factores objetivos y cuantificables que expliquen de una manera más concreta cuales son los factores identificativos de los estilos musicales Barroco y Clásico.

El trabajo de datación de cada sonata realizado por Chris Hail demuestra que los otros catálogos analizados no están ordenadas por fecha de composición aproximada, aunque sí en su conjunto pero no en sus subconjuntos (ver Figura 6 y Figura 7).

Futuras investigaciones

Los resultados obtenidos en el presente estudio permitirán ir un paso más allá en la aplicación de este método objetivo a casos de autoría dudosa de piezas entre varios posibles autores, estableciendo indicadores numéricos que permitan dar una prueba más para avalar o refutar la autoría de cada uno de ellos.

Otra investigación futura sería incorporar a las muestras de estudio piezas musicales compuestas en modo menor.

Una aplicación futura del método sería adaptarla y definir las condiciones de aplicación del método propuesto en este artículo para cuantificar numéricamente en qué medida un compositor incorpora en sus obras influencias de otros compositores clasificando sus obras en base a una muestra de obras musicales de los compositores A y B que aportan su influencia en el compositor estudiado. El mayor porcentaje de obras que sean más próximas al compositor A frente al compositor B indicará una mayor influencia del compositor A sobre el compositor estudiado.

Conclusiones

El estudio realizado identifica las sonatas de Domenico Scarlatti como más próximas al clasicismo frente al barroco en una proporción promedio del 70%.

Analizando cronológicamente la evolución del número de sonatas más próximas al estilo clásico según el análisis discriminante aplicado con función lineal, se puede concluir que se observa una tendencia positiva en tiempo (ver Figura 9).

Interpretando la Figura 9, los dos momentos destacables en la evolución del estilo compositivo de Domenico Scarlatti son el periodo 1725-29 en que volvió a residir en Italia (acercándose nuevamente al estilo barroco según la interpretación del estudio) y el periodo 1730-35 en el que su estilo compositivo evoluciona con mayor velocidad hacia un estilo clásico (coincidiendo con el traslado definitivo a Madrid).

³³Consultar "[http://es.wikipedia.org/wiki/Modulación_\(música\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulación_(música))" para un mayor detalle.

El método presentado en este artículo permite clasificar piezas musicales clásicas y barrocas en base a los porcentajes de uso de cada uno de los intervalos melódicos posibles, considerando los intervalos melódicos en su forma absoluta (nota inicial y nota final en términos absolutos en base a la tonalidad de la pieza).

La heterogeneidad de las muestras en cuanto a la forma de los elementos da un primer paso para identificar factores objetivos y cuantificables para explicar de una manera más concreta cuales son los factores identificativos de los estilos musicales Barroco y Clásico.

El presente método permite que la selección de las piezas musicales de la muestra de referencia sea independiente de la tonalidad de la pieza, su compositor, su duración, su forma y estructura musical así como su orquestación, pero dependiente del modo de su tonalidad (Mayor o menor).

Bibliografía

- Alier R. (1985), "Conocer y reconocer la música". Domenicoscarlatti. , 1985,EdicionesDaimon,Barcelona,ISBN: 84-231-2843-1.
- Cheng H., Yang Y., Lin Y., Liao I., y Chen H.H. (2008), "Automatic chord recognition for music classification and retrieval", IEEE International Conference on Multimedia & Expo 2008.
- Cruz-Alcázar, P. P., Vidal E.y Pérez-Cortes J. C. (2003), "Musical styleidentificationusinggrammaticalinference", CIARP 2003.pp. 375-382
- Ferkova E., MilanŽ.yŠidlik P. (2008), "Tonal Theory for the Digital Age",ISBN-13: 978-0-936943-17-6.
- García Pérez J. (1989), "Maestros de la música". Notas al disco Scarlatti, sonatas para clavicémbalo,Planeta- De Agostini S.A, Barcelona.
- Hail C., (2010),"Domenico Scarlatti - Chronology" , <http://mysite.verizon.net/chrishail/scarlatti/chronology.html>.
- HofstetterF.T. (1979), "The Nationalist Fingerprint in Nineteenth Century Romantic Chamber Music". inComputers and the Humanities 13,North-Holland Publishing Company. pp 105-119.
- McKay C.,Fujinaga I. (2005), "Automatic music classification and the importance of instrument identification", Proceedings of the International Computer Music Conference.
- McKay C.,Fujinaga I. (2006), "jSymbolic: A feature extractor for MIDI files", Proceedings of the International Computer Music Conference 2006, pp302-5.
- McKay, C., and I. Fujinaga (2007), "Style-independent computer-assisted exploratory analysis of large music collections", Journal of Interdisciplinary Music Studies 1 (1).pp. 63-85.
- MarinDiazaraque J.M., (2010),Análisis Discriminante , <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema6am.pdf>.
- Matthews D. (1ª Ed. 1972/1991), La música para teclado. (Título original keyboard music - Penguinbooks, 1972),Taurus ediciones, S.A. ,Madrid,ISBN:84-306-5607-3.
- Ponce de Leon, P. J., yIñesta J. M. (2004), "Statistical description models for melody analysis and characterization.", Proceedings of the International Computer Music Conference,2004, pp. 149-56.
- Tudurí A., Serra B. and Company J. (2011), "Un nuevo método de clasificación de piezas musicales clásicas utilizando indicadores objetivos de bajo nivel", Diciembre 2011, "El artista" nº 8 ,ISSN 1794-8614, pp 135-152.
- Typke R., Wiering F. Veltkamp R. (2003), "A survey of music conformation retrieval

systems.", ISMIR Proceedings,2005.

- Tzanetakis G. Ermolinskyi A, y Cook P. (2003), "Pitch histograms in audio and symbolic music information retrieval", Journal of New Music Research, June 2003, Volume 32, Issue 2, pages 143 - 152.

Antonio Tudurí Vila

toni.tuduri@uib.es

Ingeniero en Informática por la UIB (1988-1995), Máster en T.I.C. UIB (2009-10), Título profesional de violín por el Conservatori Professional de les Illes Balears (1978-88). Es director del Departamento TIC de la *Escolad'Hoteleria de les Illes Balears* desde 1995. (www.ehib.es) y profesor asociado al Departamento de Matemáticas e Informática la *Universitat de les Illes Balears* desde el año 2000. Ha sido profesor asociado al *Conservatori Superior de Música de les Illes Balears* (cursos 2000-2002) Profesor de violin en diferentes escuelas de música en Palma de Mallorca y es violinista profesional de la OCIM desde su fundación en 1998 (www.menorcaweb.net/jmdemao/ocim/) la cual le ha estrenado diferentes arreglos de oberturas de óperas de Händel.

Bartomeu Serra Cifre

tomeu.serra@uib.es

Es licenciado en Ciencias Físicas en la especialidad de electrónica por la Universidad de Navarra el año 1976. Es doctor por la Universidad de las Islas Baleares (UIB) desde 1984 i es catedrático de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial en la UIB. Desde el año 1979 es profesor de la *Universitat de les Illes Balears*. Nombrado en 1985 director del *Servei de Càlcul i Informatització* de la UIB. Ha sido miembro de la Junta rectora del *Institut Municipal d'Informàtica* del Ayuntamiento de Palma, miembro del comité científico del CITTIB, miembro del comité administrativo EMISA, asesor en materia tecnológica de la UPNA, Asesor de SPRITEL y presidente de INLEA.

Albert Díaz Rosselló

secretari@conservatorisuperior.com

Titulado Superior de piano por el Conservatorio Superior de Valencia, diploma de estudios avanzadas en la Universidad de las Islas Baleares. Actualmente es profesos titular del *Conservatori Superior de Música de les Illes Balears*. Ha obtenido un Primer Premio de Final de Grado de su promoción en el Conservatorio de les Illes Balears, el Primer Premio, por unanimidad del jurado, en el V Concurso Internacional de Piano de Eivissa. También ha recibido un galardón otorgado por el Condado de Miami Dade (EEUU). Ha realizado conciertos en salas de Europa y Estados Unidos, y ha actuado como solista, con la *Deutsch-Französisches Kammerorchester*, con la *Orquestra Simfònica de les Illes Balears*, con la *Kammerphilharmonie Baden-Württemberg* y con la *Orquestra de Cambra Els Solistes de Mallorca*. Cuenta con diversos trabajos discogràfics.