

# **Aplicación de métodos tecnológicos en la validación del estilo musical de nuevas sinfonías de F.J.Haydn orquestadas a partir de cuartetos de cuerda**

## **Application of technological methods to validate the musical style using applied on new orchestrated F.J.Haydn Symphonies from string quartets**

*Por: Antonio Tudurí Vila, Salvador Sebastià López y Bartomeu Serra Cifre*

*Docentes Universitat Illes Balears*

*“Si Dios quisiera hablarle al hombre, lo haría a través de la música de Haydn; pero si Él mismo deseara escuchar música para su propio placer, entonces elegiría a Boccherini”*

*Jean-Baptiste Cartier 1798*

### **Resumen**

Existen ejemplos de obras musicales compuestas para formaciones reducidas y que, posteriormente, han sido reescritas para ser interpretadas por una formación sinfónica. Sin embargo, es difícil demostrar si dicha orquestación se adapta o no al estilo compositivo del autor original. En este artículo se demuestra que 6 orquestaciones inéditas de cuartetos de cuerda de F.J.Haydn presentadas en este artículo, han sido realizadas en base al estilo compositivo del F.J.Haydn por medio de métodos numéricos objetivos desarrollados en el ámbito de las Tecnologías de la Información. Los resultados mostrados avalan la utilización de dichos métodos numéricos como herramienta complementaria a la investigación musicológica para dirimir la autoría de piezas de dudosa atribución frente a dos posibles compositores candidatos.

**Palabras clave:** Extracción de información musical asistida por ordenador, análisis musical, clasificación numérica de género musical, orquestación, minería de datos.

### **Abstract**

There are examples of musical pieces composed originally for chamber musical formations which have subsequently been arranged to be performed by a symphony orchestra. However, it is difficult to prove if the orchestration is adapted or not the compositional style of the original composer. This article shows that six unpublished orchestrations from Haydn's string quartets presented in this article have been made based on the compositional style of F.J.Haydn using objective numerical methods developed in the field of Information Technology. The results shown prove that the use of such numerical methods as a musicological research complementary tool help to identify the authorship of pieces of doubtful composer attribution when are evidences of two possible candidate composers.

Keywords: computer assisted musical information extraction, data mining, musical analysis, musical genre numerical classification, orchestration.

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

### *Identificación del problema*

En la historia de la música hay innumerables ejemplos de orquestaciones de obras compuestas originalmente para piano (o para una formación reducida en general) y que, posteriormente, han sido reescritas para ser interpretadas por una formación sinfónica (en sus diferentes formatos en función de la época) por el mismo autor o por otro compositor. En algunos casos, incluso ha acabado siendo más famosa la versión orquestal que la partitura original (como sería el caso de la obra "Cuadros de una exposición" o "Kartinki s vystavki" compuesta originalmente para piano por Modest Petróvich Músorgski en 1874 y orquestada por Maurice Ravel)<sup>1</sup>.

Independientemente del nivel de aceptación por parte del público de dichas orquestaciones, Es difícil dirimir si dicha orquestación se adapta o no al estilo compositivo del autor original debido a la gran cantidad de aspectos y variables relacionadas con la armonía, ritmo, color musical, instrumentación utilizada en cada fragmento, etc. que intervienen en el proceso de análisis.

Los especialistas, incapaces de valorar todas las variables en su conjunto y homogeneizar la importancia que se da a cada variable o aspecto, llegan a diferentes conclusiones al respecto (todas ellas válidas) debido a que cada uno valora de manera diferente dichos aspectos.

Paralelamente, en los últimos años y gracias a la aparición de las nuevas tecnologías, han aparecido diferentes métodos numéricos que de manera objetiva han intentado cuantificar de alguna manera este concepto de "estilo musical" por medio de variables medibles a partir de la partitura de la obra.

Por otra parte, estos procesos de orquestación han sido utilizados tradicionalmente en asignaturas del currículo de los planes de estudios de grados en composición y dirección de orquesta de conservatorios superiores como herramienta educativa sin especificar criterios cuantificables de valoración de dichas orquestaciones.

---

1 Consultar [http://es.wikipedia.org/wiki/Cuadros\\_de\\_una\\_exposición](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuadros_de_una_exposición) para una explicación más detallada.

En el presente artículo, se analiza el estilo musical de 6 orquestaciones de cuartetos de cuerda compuestos por F.J.Haydn como sinfonías clásicas utilizando los indicadores propuestos por Tudurí, Serra y Díaz<sup>2</sup> [Tudurí, Serra & Díaz 2012] y se aplican diferentes métodos objetivos de minería de datos así como el método MIAMP desarrollado por Tudurí y Serra<sup>3</sup> [Tudurí 2013] de identificación de estilo compositivo.

Todos estos métodos basarán su clasificación en base a comparaciones con muestras de obras de otros compositores similares en estilo y coetáneos en época para establecer su similitud.

Una obra musical organiza su material temático en base a una estructura preestablecida. Una obra clásica se divide en "movimientos" o capítulos de la obra, cada una de ellos con identidad propia. Cada uno de estos movimientos responde a una estructura conocida como la forma musical. En el Clasicismo, se generalizó la utilización estandarizada de la estructura "sonata" como la más utilizada para dar forma a los primeros movimientos de sonatas, sinfonías y cuartetos en general.

En líneas generales sin tener extensión para poder profundizar más en este artículo, la forma musical "Sonata" se divide en tres o cuatro partes: Exposición, Desarrollo, Reexposición o Recapitulación y opcionalmente de una Coda. Dicha forma la suelen cumplir todos los cuartetos y sinfonías de F.J.Haydn.

Para enunciar brevemente el sentido de cada una de las partes se debe decir que en la Exposición se presentan los 2 temas del movimiento (el segundo en una tonalidad diferente vecina tal como la dominante, relativo mayor, o subdominante) interconectados por medio de un puente. En el Desarrollo se da una relativa libertad al compositor para crear nuevo material musical variando el material temático original con una menor rigidez formal. Finalmente en la Recapitulación generalmente es similar a la Exposición pero sustituyendo el puente por un episodio de conexión entre los dos temas sin variar la tonalidad original de tónica para poder mostrar ambos temas en la misma tonalidad. Por último la Coda puede repetir la de la exposición o añadirse una nueva para reforzar más si cabe el cierre del movimiento normalmente sin el material temático original.

Independientemente de la orquestación utilizada (instrumento solo, cuarteto de cuerda, orquesta de cuerda, orquesta sinfónica), todas ellas

---

2 Tudurí A., Serra B. and Díaz A., "Identificación de rasgos en el estilo musical de las sonatas para teclado de Domenico Scarlatti por medio de herramientas matemáticas y tecnológicas.", "El artista: revista de investigaciones en música y artes plásticas" - Martha Lucia Barriga Monroy, Diciembre 2012, N° 9, pp 267-286 ,ISSN-e: 1794-8614

3 A. Tudurí (2013) "Diseño y aplicación de herramientas tecnológicas aplicadas a la identificación de elementos diferenciales del estilo compositivo de autores clásicos".

suelen empezar con un movimiento en forma "Sonata" y también las mismas formas para el resto de movimientos (Andante, Minuet-Trio y Rondó Allegro).

### *Revisión de investigaciones relacionadas*

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 Fujinaga<sup>4 5</sup> [McKay, Fujinaga 2005], [McKay, Fujinaga 2006] 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 (Automatic Classification Engine) 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 autores<sup>6</sup> [McKay, Fujinaga 2007] tratan el mismo problema de identificación del género musical pero añadiendo como variables de estudio acordes y un estudio de los patrones rítmicos.

En 1979, Fred. T. Hofstetter<sup>7</sup> [Hofstetter 1979] 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 (Mendelssohn 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

---

4 McKay C.,Fujinaga, "Automatic music classification and the importance of instrument identification", Proceedings of the International Computer Music Conference,2005

5 McKay C.,Fujinaga I., "jSymbolic: A feature extractor for MIDI files", Proceedings of the International Computer Music Conference ,2006

6McKay, Fujinaga 2007: McKay, C., and I. Fujinaga, "Style-independent computer-assisted exploratory analysis of large music collections", Journal of Interdisciplinary Music Studies 1 (1),2007,

7 Fred T. Hofstetter, "The Nationalist Fingerprint in Nineteenth Century Romantic Chamber Music". inComputers and the Humanities 13, 1979,North-Holland Publishing Company,,

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

Pearson<sup>8</sup>).

Tzanetakis, Ermolinskyi y Cook<sup>9</sup> en su estudio de 2004 [Tzanetakis, Ermolinskyi, Cook, 2003] 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-Tze Cheng, Yi-Hsuan Yang y Yu-Ching Lin<sup>10</sup> [Heng et al. 2008] proponen en su método utilizar histogramas de uso de acordes en piezas musicales para clasificarlas en base a una clasificación de emociones (ira, felicidad, tristeza).

Ferkova E., Ždimal M., Šidlik P.<sup>11</sup> [Ferkova E. Ždimal M.Šidlik, P 2008] proponen el estudio de estilos compositivos de 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 [Typke, Wiering, Veltkamp, 2005] 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. Iñesta<sup>12</sup> [Ponce, Iñesta 2004] 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-Cortes también plantean un trabajo para identificar estilos musicales pero ellos plantean la utilización de técnicas de inferencia gramatical para resolver el problema<sup>13</sup> [Cruz-Alcázar et al. 2003].

---

8 Consultar [http://es.wikipedia.org/wiki/Distribución\\_Chi2](http://es.wikipedia.org/wiki/Distribución_Chi2) para un mayor detalle.

9 Tzanetakis, Ermolinskyi, Cook, 2003: Tzanetakis G. Ermolinskyi A, Cook P., "Pitch histograms in audio and symbolic music information retrieval", Journal of New Music Research, June 2004,

10 Heng-Tze Cheng, Yi-Hsuan Yang, Yu-Ching Lin, I-Bin Liao\*, and Homer H. Chen, "Automatic chord recognition for music classification and retrieval", IEEE International Conference on Multimedia & Expo 2008,

11 Ferkova Eva, Ždimal Milan, and Šidlik Peter, "Tonal Theory for the Digital Age", ISBN-13: 978-0-936943-17-6

12 Ponce de Leon, P. J., and J. M. Iñest, "Statistical description models for melody analysis and characterization.", Proceedings of the International Computer Music Conference, 2004

13 Cruz-Alcázar, P. P., E. Vidal, and J. C. Pérez-Cortes, "Musical style identification using grammatical inference", CIARP 2003, 2003

Tudurí, Serra y Company<sup>14</sup> [Tudurí, Serra, Company 2011] 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.

Dor y Reich,[Dor, Reich 2011] clasifican piezas por compositor por medio de algoritmos basados en técnicas de minería de datos utilizados en este artículo. Obtienen unos resultados sorprendentes pero que son mucho peores en los casos en que uno de los dos compositores candidatos tenga pocas obras.

### *Objetivo de la investigación*

El objetivo de esta investigación es demostrar que las 6 orquestaciones de cuartetos de cuerda presentadas en este artículo han sido realizadas en base al estilo compositivo del F.J.Haydn por medio de métodos objetivos desarrollados en el ámbito de las Tecnologías de la Información.

### *Descripción de las piezas clasificadas en base a los métodos elegidos*

Las 25 piezas las cuales en este artículo se presenta su validación como correctas con respecto a Haydn son el resultado de la orquestación (en formato de sinfonía clásica) realizada por el Dr. Tudurí de los movimientos de 6 cuartetos de cuerda. La elección de los cuartetos a orquestar ha sido el resultado de un estudio preliminar en el que estudió su idoneidad para la adaptación de su material musical en formato sinfónico utilizado por Haydn en la misma época en que fue compuesto.

La numeración asignada a dichas sinfonías (a partir de 109) ha sido realizada por orden de creación y para evitar confusiones y no utilizar ningún número de sinfonía ya utilizado en la catalogación de Hoboken-Verzeichnis. Para la mayoría de obras programadas de Haydn la última sinfonía de Haydn es la número 104, pero el catálogo Hoboken-Verzeichnis incluye también las siguientes sinfonías<sup>15</sup>:

- ▲ Hob. I/105 en Si bemol Mayor (Sinfonía Concertante para violín, violonchelo, oboe y fagot)
- ▲ Hob. I/106, sólo ha llegado a nuestros días el primer movimiento en Re Mayor

---

14 Tudurí A., B.Serra and J.Company, "Un nuevo método de clasificación de piezas musicales clásicas utilizando indicadores objetivos de bajo nivel", Diciembre 2011, ,ISSN 1794-8614

15 [http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sinfonías\\_de\\_Joseph\\_Haydn](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sinfonías_de_Joseph_Haydn)

- ^ Hob. I/107 en Si bemol Mayor, (Sinfonía A)
- ^ Hob. I/108 en Si bemol Mayor, (Sinfonía B )

La información de las obras orquestadas está recogida en la Tabla 1

Sinfonía / cuarteto de cuerda original <sup>16</sup> / enlace sonoro	Nº mov. / tempo	Tonalidad	notes origin.	notes orq.	Increment. % <sup>17</sup>	Nº compases
Nº 109 / nº63 Si b M, Op.76,nº4, Hob.III:78 ( <a href="http://bit.ly/symp109">http://bit.ly/symp109</a> )	1-Allegro con spirito	Si b M	3462	6621	91,2	188
	2-Adagio	Mi b M	995	1520	52,8	75
	3-Menuetto/ Trio	Si b M/Si b M	906	2022	123,2	109
	4-Finale: Allegro ma non troppo	Si b M	2588	4708	81,9	169
Nº 110 / nº 7La M, Op.2, nº1, Hob.III:7 ( <a href="http://bit.ly/symp110">http://bit.ly/symp110</a> )	1-Allegro	La M	1311	2940	124,3	112
	2-Menuetto/Trio	La M/La m	890	1760	97,8	52
	3-Poco adagio	Re M	2118	3477	64,2	72
	4-Menuetto/Trio	La M/La M	423	819	93,6	46
	5-Allegro Molto	La M	971	2071	113,3	79
Nº 111 / nº57 Do M, Op.74, nº1, Hob.III:72 ( <a href="http://bit.ly/symp111">http://bit.ly/symp111</a> )	1-Allegro Moderato	Do M	3066	4433	44,6	156
	2-Andantino grazioso	Sol M	1947	2720	39,7	174
	3-Menuetto/Trio	Do M/La M	920	1856	101,7	112
	4-Finale vivace	Do M	3501	5372	53,4	288
Nº 112 / nº49 Si m, Op.64, nº 2, Hob.III:68 ( <a href="http://bit.ly/symp112">http://bit.ly/symp112</a> )	1-Allegro Spirituoso	Si m	2355	3694	56,9	110
	2-Adagio ma non troppo	Si M	1508	2381	57,9	94
	3-Menuetto/Trio	Si m/Si M	610	1112	82,3	65
	4-Finale Presto	Si m	2249	3938	75,1	198
Nº 113 / nº31 Si m Op.33, nº 1, Hob.III:37	1-Allegro moderato	Si m	2097	3609	72,1	94

16 [http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Cuartetos\\_de\\_cuerda\\_de\\_Joseph\\_Haydn](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Cuartetos_de_cuerda_de_Joseph_Haydn)

17 Un porcentaje del 100% significa que el número de notas en la orquestación es el doble que en movimiento original del cuarteto.

Sinfonía / cuarteto de cuerda original <sup>16</sup> / enlace sonoro	Nº mov. / tempo	Tonalidad	notes origin.	notes orq.	Increment. % <sup>17</sup>	Nº compases
<a href="http://bit.ly/symp113">http://bit.ly/symp113</a>	2-Scherzando Allegro/Trio	Si m/Si M	494	1072	117	66
	3-Andante	Re M	1799	2844	58,1	85
	4-Presto	Si m	2311	3697	60	197
Nº 114 / nº39 Fa#m, Op.50,nº 4, Hob.III:47 <a href="http://bit.ly/symp114">http://bit.ly/symp114</a>	1-Allegro Spirituoso	Fa#m	3318	5360	61,5	187
	2-Andante	La M	1743	3311	90	110
	3-Menuetto. Poco Allegretto	Fa#M/La M	725	1439	98,5	72
	4-Finale Fuga (Allegro moderato)	Fa#m	1457	2713	86,2	84

*Tabla 1: Listado de cuartetos orquestados y analizados en este artículo.*

La instrumentación utilizada en las sinfonías está detallada en la Tabla 2 y es la que F.J.Haydn utilizó en las sinfonías compuestas en la misma época que compuso los 6 cuartetos orquestados.

Sinfonías	Instrumentos añadidos
Nº 110	Contrabajo, 2 oboes, 2 trompas y clave
Nº's 109, 111,112,113 y 114	Contrabajo, 2 oboes, flauta, 2 trompas y fagot.

*Tabla 2: Voces incorporadas a la orquestación en cada sinfonía.*

Se describen a continuación los principios aplicados más importantes en el proceso de orquestación de los 6 cuartetos ya que su descripción completa excede la extensión de este artículo.

#### Aparición de la sección de vientos en la finalización de frases

Utilizar la sección de viento para aparecer en los 2 o 3 compases antes de la finalización de una frase con el objetivo de reforzar el efecto armónico e incrementar el carácter conclusivo de dichas frases tal como muestra el ejemplo de la Figura 1.



Figura 1: Aparición de los vientos en la cadencia perfecta del compás 12 del cuarto movimiento del cuarteto n°57 en Do M, Op.74, n°1, Hob.III:72 (sinfonía 111)

### Simplificación técnica de pasajes musicales difíciles.

Principalmente en la voz de primer violín y violonchelo a veces bajando la tesitura del pasaje una octava o repartiendo el material musical entre varias voces de manera alternada (un motivo en cada voz) para distribuir la dificultad del mismo. Las figuras 2 y 3 muestran el pasaje original del primer movimiento del cuarteto n°31 Si m Op.33, n° 1, Hob.III:37 en su compás 46 y el resultado de orquestación en la sinfonía 113 en la que la voz del primer violín se ha repartido entre la sección de violines primeros y el oboe 1.



Figura 2: Compases 46-48 del primer movimiento de la orquestación en la sinfonía 113 en las que se reparte el material musical de la voz del violín 1º con el oboe 1.



Figura 3: Análogos compases de la Figura 2 en la partitura original del cuarteto Op.33, n° 1, Hob.III:37

### Redistribución de fragmentos completos de material musical

En pasajes utilizados por Haydn para cambiar rápidamente la tonalidad por medio de progresiones dicho material se ha ubicado en la sección de vientos como el ejemplo mostrado en la Figura 4 inicio del desarrollo del primer movimiento del cuarteto n°49 en Si m, Op.64, n° 2, Hob.III:68 (Sinfonía 112)



Figura 4: inicio del desarrollo del primer movimiento del cuarteto n°49 en Si m, Op.64, n° 2, Hob.III:68 (Sinfonía 112)

### Creación de material original en las voces de vientos

Se han utilizado motivos aparecidos en las voces del cuarteto original para crear material nuevo en las voces de viento.

### Creación de la voz de contrabajo.

En general el contrabajo reproduce el material musical del violonchelo pero con menos notas para resaltar generalmente aspectos rítmicos en los tiempos fuertes del compás como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 5.



Figura 5: Material musical de las cuerdas del 3er movimiento de la sinfonía 114 (Minueto) en la que el contrabajo marca el ritmo tomando de la acción de violonchelos.

### Utilización de fragmentos en unísono

Con el objetivo de realzar las voces melódicas se ha doblado la voz de la melodía (generalmente la asignada al violín 1º) en fagots y oboes principalmente.

## Creación de ritmos emiólicos

En determinados pasajes de algunos movimientos minuet/trío se ha creado material musical en las voces de los vientos con un ritmo binario creando una combinación de ritmos binarios y ternarios en una serie de compases. La Figura 6 muestra un ejemplo de ello en la sinfonía 112 en su tercer movimiento en los compases 10-12.

The image shows a musical score for five instruments: Oboe 1, Oboe 2, Flute, Bassoon, and Violin 1. The score is in 2/4 time and consists of three measures. The key signature has two sharps (F# and C#). The Oboe parts play a rhythmic pattern of quarter notes and rests. The Flute and Bassoon parts play a similar rhythmic pattern. The Violin 1 part plays a melodic line of eighth notes.

Figura 6: Ritmo emiólico en las voces de viento comparadas con la línea melódica desarrollada por los violines 1°

## 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.

## Descripción de los indicadores y algoritmos de clasificación utilizados

### Indicadores numéricos

Los valores numéricos extraídos de cada pieza musical analizada (tanto en la muestra como en las orquestaciones realizadas son los mostrados en Tabla 3

Descripción	Nº de valores	Dominio
Nº total de notas	1	Número natural positivo
Porcentaje de utilización de cada nota con respecto a la tonalidad	12	% de aparición ( $0 \leq \text{valor} \leq 1$ )
Porcentaje de utilización de cada intervalo melódico (con respecto a la tonalidad)	144 (12 notas x 12 notas)	% de aparición ( $0 \leq \text{valor} \leq 1$ )

Tabla 3: Descripción de los indicadores utilizados.

En la muestra se han excluido movimientos con dos tonalidades en su partitura como serían los movimientos minuet/trío en los que rara vez la tonalidad del minuet y el trío coinciden. Generalmente la tonalidad del trío suele ser la 5ª superior a la tonalidad del minuet o el relativo menor aunque pueden utilizarse otras tonalidades.

Dichos indicadores de cada pieza musical han sido extraídos por medio de la aplicación AN\_MIDv5.1 explicada en detalle en [Tudurí 2013] en el capítulo 4.

### *Algoritmos de clasificación utilizados*

El método MIAMP utilizado se encuentra ampliamente detallado en [Tudurí 2013] en el capítulo 7 (pp. 134-141) y básicamente para cada muestra de obras conocidas crea una función de distancia euclidiana ponderada creada por medio de algoritmos evolutivos con la que define las obras dudosas como más próximas a cada compositor candidato a ser el autor.

El resto de métodos son métodos de minería de datos implementados en la aplicación Weka v3.6.12 desarrollada por la Universidad de Waikato[waikato MLG].

Los métodos son: SMO, Random Forest, Random Tree, k-neighbor, Logistic, Naive Bayes, y Bayes Net. El funcionamiento de estos algoritmos está ampliamente explicado en [Tudurí 2013] en las páginas 311, 306, 283, 377, 307, 300 y 300 respectivamente.

La fiabilidad de los algoritmos ha sido calculada por medio de la técnica de validación cruzada con 10 experimentos (*ten-folded cross validation*)

### *Descripción de la muestra de entrenamiento/aprendizaje.*

Para realizar las pruebas de similitud de las orquestaciones analizadas al estilo de F.J.Haydn y teniendo en cuenta que cuanto mayores sean las muestras menor será el margen de error en la aplicación de los métodos utilizados, se ha seleccionada como compositor alternativo a W.A.Mozart por existir en Internet (con distribución libre) gran cantidad de piezas secuenciadas en formato MIDI de dicho compositor.

La muestra de piezas reconocidas contiene 700 movimientos de sinfonías, cuartetos y sonatas de ambos compositores y su contenido está detallado en la Tabla 4.

Estas piezas musicales reconocidas de ambos compositores han sido las utilizadas para realizar el aprendizaje (*training*) de los métodos de clasificación utilizados antes de aplicar dichos modelos creados a las piezas clasificadas en este artículo.

		Nº movs.
F.J. Haydn (1732-1809)	Todas las sonatas para clave (Hob XVI)	139
	Sinfonías (Hob I/60 – 104) <sup>18</sup>	153
	Cuartetos (Hob III Op.1, 2, 3, 20, 33, 42, 50, 52, 54, 64, 74, 76 y 77)	192
W.A.Mozart (1756-1791)	Todas las sonatas para piano(forte)	48
	Sinfonías (k.128/ nº16 – k.551/nº41)[2] <sup>19</sup>	93
	Todos los cuartetos (23)	75

*Tabla 4: Descripción de las piezas incluidas en las piezas reconocidas de F.J.Haydn y W.A.Mozart.*

En la muestra se han excluido movimientos con dos tonalidades en su partitura como serían los movimientos minuet/trío en los que rara vez la tonalidad del minuet y el trío coinciden. Generalmente la tonalidad del trío suele ser la 5ª superior a la tonalidad del minuet o el relativo menor aunque pueden utilizarse otras tonalidades.

Todos los ficheros MIDI han sido editados con un editor de partituras para incluir la tonalidad de la pieza en la armadura porque es de allí donde se extrae su tonalidad. También han sido repartidas todas las líneas melódicas en diferentes aunque coincidan algunos en timbre para facilitar la labor del programa de extracción de indicadores para separar las líneas melódicas.

## RESULTADOS

Se presentan en este apartado mediante las tablas 5, 6 y 7 los resultados obtenidos en cada método pero cambiando la muestra de entrenamiento. En el experimento resumido en la Tabla 5 se han incluido en la muestra de entrenamiento todas las piezas musicales de la muestra inicial (sinfonías, cuartetos de cuerda y sonatas para teclado de ambos compositores. En la Tabla 6 se han incluido en la muestra de entrenamiento sólo las sinfonías y cuartetos de cuerda. En la Tabla 7 se han incluido en la muestra de entrenamiento sólo las sinfonías.

Los campos de las tablas 5, 6 y 7 son los siguientes:

- ⤴ **Método:** Algoritmo de clasificación utilizado.
- ⤴ **% éxito:** Porcentaje de fiabilidad promedio del método basado en una prueba de validación cruzada con 10 experimentos.
- ⤴ **% de considerar hdn siendo Mzt.:** Porcentaje de

18 No se incluye en la muestra las sinfonías nº. 74,75 y 77-81 porque no ha sido localizada ninguna fuente MIDI.

19 No ha sido considerada la sinfonía 37 porque en la actualidad es atribuida a Michael Haydn.

probabilidad condicionada de que una pieza compuesta por W.A.Mozart sea considerado según este método como de F.J.Haydn.

▲ **% de considerar moz siendo Hdn.:** Porcentaje de probabilidad condicionada de que una pieza compuesta por F.J.Haydn sea considerada según este método como de W.A.Mozart.

▲ **% pred. de orquest.:** Porcentaje de piezas orquestadas que han sido clasificadas correctamente al aplicar el método desarrollado con la muestra de aprendizaje o entrenamiento.

▲ **Piezas fallidas:** Detalle de piezas que no han sido consideradas como próximas al estilo de F.J.Haydn en formato *sinf\_mov*, es decir, el número de sinfonía y movimiento (ej: 111\_3 Sinfonía 111 3<sup>er</sup> movimiento).

Método	% éxito	% de considerar hdn siendo Mzt.	% de considerar moz siendo Hdn.	% pred. de orquest.	Piezas fallidas
SMO	72,67%	53,71%	15,01%	91,66%	111_1, 112_1
Random Forest	73,35%	78,30%	2,40%	95,83%	110_5
Random Tree	60,58%	55,40%	31,90%	83,33%	110_1, 110_5, 112_4, 113_3
k-neighbor	61,13%	45,71%	35,70%	83,33%	110_3, 111_2, 111_4, 112_2
Logistic	66,78%	45,71%	27,30%	91,67%	109_4, 111_2
Naive Bayes	53,10%	20,57%	59,20%	70,83%	109_1, 110_1, 110_3, 110_4, 110_5, 111_4, 112_2
Bayes Net	59,12%	29,71%	70,30%	70,83%	109_1, 110_1, 110_3, 110_5, 111_2, 111_4, 113_3
MIAMP	50,62%	33,14%	66,61%	73,14%	109_1, 110_1, 110_3, 111_1, 111_4, 113_3

Tabla 5: Resultados de la aplicación de los métodos de clasificación seleccionados utilizando como muestra de entrenamiento todas las obras de Haydn y Mozart (sinfonías, sonatas y cuartetos de cuerda).

Método	% éxito	% de considerar hdn siendo Mzt.	% de considerar moz siendo Hdn	% pred. de orquest.	Piezas fallidas
SMO	71,42%	49,60%	50,04%	83,33%	109_4 110_4, 111_2, 112_2
Random Forest	70,86%	69,60%	7,30%	91,67%	110_3, 110_5
Random	59,10%	59,20%	31,00%	87,50%	110_1, 110_3, 110_5

Método	% éxito	% de considerar hdn siendo Mzt.	% de considerar moz siendo Hdn	% pred. de orquest.	Piezas fallidas
Tree					
k-neighbor	63,02%	40,80%	34,90%	87,50%	110_3, 111_4, 112_2
Logistic	64,42%	42,40%	31,90%	79,16%	109_4, 110_3, 110_4, 111_2, 112_2
Naive Bayes	55,74%	20,00%	57,30%	62,50%	109_3, 109_4, 110_1, 110_3, 110_4, 110_5, 111_4, 112_2
Bayes Net	57,98%	51,20%	37,10%	70,83%	109_3, 110_1,3,4,5, 111_4 113_3,
MIAMP	69,10%	31,20%	30,66%	75,00%	109_4, 110_1, 110_3, 110_4, 110_5, 111_2

*Tabla 6: Resultados de la aplicación de los métodos de clasificación seleccionados utilizando como muestra de entrenamiento sólo las sinfonías y cuartetos de cuerda de Haydn y Mozart.*

Método	% éxito	% de considerar hdn siendo Mzt.	% de considerar moz siendo Hdn	% pred. de orquest.	Piezas fallidas
SMO	71,42%	49,70%	17,20%	83,33%	109_4, 110_4, 111_2, 112_2
Random Forest	70,86%	69,60%	7,30%	91,67%	110_3, 110_5
Random Tree	59,10%	59,20%	31,00%	87,50%	110_1, 110_3, 110_5
k-neighbor	63,02%	40,80%	34,90%	87,50%	110_3, 111_4, 112_2
Logistic	64,42%	42,40%	31,90%	79,16%	109_4, 110_3, 110_4, 111_2, 112_2
Naive Bayes	55,74%	20,00%	57,00%	62,50%	109_3,4, 110_1,3,4,5, 111_4, 112_2
Bayes Net	57,98%	51,20%	37,15%	70,83%	109_3, 110_1,3,4,5, 111_4, 113_3
MIAMP	69,10%	31,20%	30,60%	75,00%	109_4, 110_1,3,4,5, 111_2

*Tabla 7: Resultados de la aplicación de los métodos de clasificación seleccionados utilizando como muestra de entrenamiento sólo las sinfonías de Haydn y Mozart.*

## Discusión

En la Tabla 8 se muestran los datos de las tablas 5, 6 y 7 traspuestos para identificar cuántos métodos i cuántas veces han fallado en la clasificación de cada pieza. Las celdas vacías de la Tabla 8 indican que ningún método



en cada una de las muestras de aprendizaje ha clasificado como más próximo a Mozart a dicho movimiento.

Sinf.	Nº mov.	T5 <sup>20</sup>	T6	T7	Total fallidos <sup>21</sup>
<b>109</b>	<b>1</b>	3			3 (12,5%)
	<b>2</b>				
	<b>3</b>		1	2	3 (12,5%)
	<b>4</b>	1	3	3	7 (29,17%)
<b>110</b>	<b>1</b>	4	3	3	10 (41,67%)
	<b>2</b>				
	<b>3</b>	4	6	6	14 (58,33%)
	<b>4</b>	1	4	4	9 (37,5%)
	<b>5</b>	4	4	4	12 (50%)
<b>111</b>	<b>1</b>	2			2 (8,33%)
	<b>2</b>	2	3	2	7 (29,17%)
	<b>3</b>				
	<b>4</b>	4	2	3	9 (37,5%)
<b>112</b>	<b>1</b>	1			
	<b>2</b>	2	3	5	10 (41,67%)
	<b>3</b>				
	<b>4</b>	1			1 (4,17%)
<b>113</b>	<b>1</b>				
	<b>2</b>				
	<b>3</b>	3	1		4 (16,67%)
	<b>4</b>				
<b>114</b>	<b>1</b>				
	<b>2</b>				
	<b>3</b>				
	<b>4</b>				

*Tabla 8: Número de experimentos fallidos por cada pieza/movimiento en respecto el total de experimentos (3muestras x 8 experimentos/muestra).*

Como se puede ver en la Tabla 8 la sinfonía que más métodos han considerada distante al estilo de Haydn es la número 110 (cuarteto nº 7 en

20 T5 referido a los experimentos detallados en la Tabla 5 (8 métodos = 8 experimentos).

21 Porcentaje calculado respecto el total de experimentos (3 muestras de entrenamiento x 8 métodos aplicados a cada muestra = 24 experimentos)

La M, Op.2, nº1, Hob.III:7) y ello es debido a que la muestra de entrenamiento de sinfonías de Haydn apenas incluye sinfonías con número de catálogo inferior a 50, por lo que como es lógico, su estilo compositivo evolucionó y al ser la sinfonía 110 un número de catálogo bajo (Hob.III:7) el estilo es bastante diferente de las sinfonías de las muestras de entrenamiento. Este hecho refuerza más si cabe la fiabilidad de estos métodos utilizados al ser este un resultado esperado.

Siguiendo la línea de tiempo se puede comprobar que los números más altos de sinfonía encajan mejor con el estilo de Haydn según los métodos utilizados. Se considera este hecho como lógico debido al desarrollo de la experiencia en la disciplina de la orquestación del autor.

Aquellos movimientos con menor número de notas son aquellos que peor son clasificados debido a que la fiabilidad de estos métodos numéricos están basados en principios de probabilidad.

La Tabla 9 resume el promedio de los porcentajes de éxito en la clasificación (columna "% pred.de orquest." de las tablas 5, 6 y 7) de los 8 métodos utilizados constatando que el método con mayor porcentaje promedio de éxito es el *Random Forest* seguido por los algoritmos *SMO*, *Random Tree* y *K-neighbor*. Por otra parte, el método *Bayes Net* es el que presenta una varianza cero en los promedios de éxito.

Método	T5	T6	T7	Promedio	Var.
SMO	91,66%	83,33%	83,33%	86,10%	'0,0023
Random Forest	95,83%	91,67%	91,67%	93,06%	'0,0006
Random Tree	83,33%	87,50%	87,50%	86,11%	'0,0006
k-neighbor	83,33%	87,50%	87,50%	86,11%	'0,0006
Logistic	91,67%	79,16%	79,16%	83,33%	'0,0052
Naive Bayes	70,83%	62,50%	62,50%	65,28%	'0,0023
Bayes Net	70,83%	70,83%	70,83%	70,83%	'0,0000
MIAMP	73,14%	75,00%	75,00%	74,38	'0,0001

Tabla 9: Promedio y varianza de los porcentajes de clasificación correcta alcanzados en las tres muestras de aprendizaje.

### *Futuras investigaciones.*

Una investigación futura sería aplicar estos métodos de clasificación a reducciones de sinfonías a formato cuarteto de cuerda para demostrar con ello la posibilidad en sentido contrario es decir, que una sinfonía reducida a cuarteto responde perfectamente al estilo compositivo de Haydn.

Otra investigación futura sería también aplicar estos métodos a

orquestraciones de otros compositores como por ejemplo W.A.Mozart.

### *Conclusiones*

En este artículo se han presentado 6 orquestraciones de cuartetos de cuerda de F.J.Haydn como sinfonías intentando respetar el estilo compositivo del autor. Presentadas las orquestraciones (<http://bit.ly/ToniT>), se ha comprobado su proximidad al estilo compositivo de Haydn aplicando 8 métodos de clasificación de piezas musicales por compositor.

Dichos resultados consideran dichas orquestraciones acordes con el estilo compositivo de Haydn en un promedio de 80,7% a partir de los resultados de los métodos numéricos utilizados utilizando como muestras de aprendizaje 3 colectivos de piezas de Haydn i Mozart (como compositor coetáneo y similar en estilo).

Los resultados mostrados avalan la utilización de métodos numéricos como herramienta complementaria a la investigación musicológica para dirimir la autoría de piezas de dudosa atribución frente a dos posibles compositores candidatos.

### **Bibliografía**

- Cruz-Alcázar, P. P., E. Vidal, and J. C. Pérez-Cortes, "Musical style identification using grammatical inference", CIARP 2003,2003
- Dor O. and Reich Y., "An Evaluation of Musical Score Characteristics for Automatic Classification of Composers",Computer Music Journal, 2011,Vol. 35, No. 3, pp 86-97 ,ISSN 0148-9267
- Ferkova Eva, Ždimal Milan, and Šidlik Peter, "Tonal Theory for the Digital Age", ,,,ISBN-13: 978-0-936943-17-6
- Fred T. Hofstetter, "The Nationalist Fingerprint in Nineteenth Century Romantic Chamber Music". inComputers and the Humanities 13, 1979,North-Holland Publishing Company,,
- Heng-Tze Cheng, Yi-Hsuan Yang, Yu-Ching Lin, I-Bin Liao\*, and Homer H. Chen, "Automatic chord recognition for music classification and retrieval", IEEE International Conference on Multimedia & Expo 2008,
- Machine Learning Group at University of Waikato, 2011,"Weka 3: Data Mining Software in Java" , <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>,Downloaded on January 2012
- McKay C.,Fujinaga, "Automatic music classification and the importance of instrument identification", Proceedings of the International Computer Music Conference,2005
- McKay C.,Fujinaga I., "jSymbolic: A feature extractor for MIDI files",

Proceedings of the International Computer Music Conference ,2006

- McKay, Fujinaga 2007: McKay, C., and I. Fujinaga, "Style-independent computer-assisted exploratory analysis of large music collections", *Journal of Interdisciplinary Music Studies* 1 (1),2007,
- Ponce de Leon, P. J., and J. M. Iñest, "Statistical description models for melody analysis and characterization.", *Proceedings of the International Computer Music Conference*,2004
- 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 , Martha Lucia Barriga Monroy, Diciembre 2011, ISSN 1794-8614, pp 135-152.
- Tudurí A., Serra B. and Díaz A., "Identificación de rasgos en el estilo musical de las sonatas para teclado de Domenico Scarlatti por medio de herramientas matemáticas y tecnológicas.", "El artista: revista de investigaciones en música y artes plásticas" - Martha Lucia Barriga Monroy, Diciembre 2012,Nº 9, pp 267-286 ,ISSN-e: 1794-8614
- Tudurí 2013: Tudurí A., "Diseño y aplicación de herramientas tecnológicas aplicadas a la identificación de elementos diferenciales del estilo compositivo de autores clásicos", 2013
- Typke R., Wiering F. Veltkamp R., "A survey of music onformation retrieval systems.", *ISMIR Proceedings*,2005
- Tzanetakis, Ermolinskyi, Cook, 2003: Tzanetakis G. Ermolinskyi A, Cook P., "Pitch histograms in audio and symbolic music information retrieval", *Journal of New Music Research*,June 2004,

### **Antonio Tudurí Vila ([toni.tuduri@uib.es](mailto:toni.tuduri@uib.es))**

Ingeniero en Informática por la UIB (1988-1995), Máster en T.I.C. UIB (2009-10), Doctor en TIC por la UIB (2013), Título profesional de violín por el *Conservatori Professional de les Illes Balears* (1978-88). Es director del Departamento TIC de la *Escola d'Hoteleria de les Illes Balears* desde 1995. ([www.ehib.es](http://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 ha sido violinista profesional de la OCIM desde su fundación en 1998 ([www.menorcaweb.net/jmdemao/ocim/](http://www.menorcaweb.net/jmdemao/ocim/)) la cual le ha estrenado diferentes arreglos de oberturas de óperas de Händel. Actualmente es violinista de *Ars Musicae Orquestra Barroca* orquesta especializada en música antigua con instrumentos originales.

### **Salvador Sebastià López ([salvasebastia@yahoo.es](mailto:salvasebastia@yahoo.es))**

Titulado Superior por el Conservatorio Superior de Música "Joaquín Rodrigo" de Valencia en 7 especialidades con Premio Extraordinario en Composición, Máster de Estética y Creatividad Musical y Máster en Formación en la Investigación Universitaria. Actualmente Director Titular de la Banda Municipal de Palma de Mallorca, ha sido Profesor de Orquesta del Conservatorio Superior de Música "Salvador Seguí" de Castellón. Ha dirigido numerosas orquestas tales como la Orquesta de Valencia, Orquesta Sinfónica de la Ciudad de Tainan (Taiwán), Orquesta Sinfónica del Neuquén (Argentina), Orquesta Sinfónica del Teatro Marrucino de Chieti (Italia) entre otras dirigiendo solistas de ámbito internacional. Ha colaborado en proyectos de recuperación, edición y difusión de patrimonio musical español y ha registrado con el sello RTVE, Edivox IP Producciones, Audioart y ARS HARMONICA.

**Bartomeu Serra Cifre. ([tomeu.serra@uib.es](mailto: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 las Islas Baleares*. 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.