

# Una propuesta metodológica para el análisis del repertorio sinfónico contemporáneo: herramientas digitales para el estudio de señales sonoras

Francisco Javier Trabalón Ruiz  
(Universidad de Valladolid)

## 1. MARCO TEÓRICO

Un objeto de estudio tan variado y heterogéneo como el repertorio de música sinfónica contemporánea, invita a una actuación investigadora que se nutra de diferentes propuestas, a partir de las cuales se pueda diseñar una metodología que ofrezca herramientas suficientes y adecuadas, permitiendo realizar un análisis basado en la extracción de información –lo más objetiva posible– y su posterior significación y contextualización.

Debido a la actualidad del repertorio objeto de estudio, parece sensato recurrir a propuestas recientes, ya que puede considerarse positivo que dichas propuestas hayan tenido en cuenta el desarrollo de la creación musical durante los siglos XX y XXI. La contemporaneidad de estas metodologías no implica un adanismo innovador; por el contrario se erigen bajo presupuestos anteriormente evaluados y aceptados.

La propuesta metodológica que se describe en este artículo, y que se ha implementado en recientes investigaciones (Trabalón, 2015; 2022a; 2022b), asume un marco teórico constituido a partir de la teoría del análisis semiológico-musical tripartito de Jean-Jacques Nattiez (1990); los modelos de la semioestructura y la morfoestructura de Carlos Villar-Taboada (2018), el análisis dialéctico de Alfonso Padilla, el concepto de «figura» de Salvatore Sciarrino y los principios del movimiento *MIR*<sup>1</sup>. A continuación, se destacan los aspectos más relevantes de estos planteamientos que han servido como base para la misma.

El enfoque de Nattiez se asienta en la semiología. Concibe el fenómeno musical como una combinación de niveles que se interrelacionan entre sí y amplía el concepto tradicional que equipara a la obra con la representación gráfica –partitura– o su realización performativa –sonido–. El objeto artístico está constituido por todos aquellos procedimientos que lo han hecho posible –la trayectoria del compositor, su estética y su poética musical o el origen

---

<sup>1</sup> *Music Information Retrieval*.

de la obra– y su traslación al dominio de la realidad en un contexto determinado –el lugar de interpretación, los músicos involucrados, o los espacios de realización–. Todos estos son organizados en tres categorías o niveles que definen el hecho musical íntegramente: nivel poético, *trace* y nivel estésico (1990:11-12).

La propuesta de Villar-Taboada parte –como Nattiez– de una orientación semiótica. Plantea tres sistemas que comprenden las relaciones entre los componentes del fenómeno musical y su contexto, y que articulan su significado: logoestructura, semioestructura y morfoestructura. A continuación, me centraré en los dos últimos, que sirven de fundamento para la metodología propuesta.

La semioestructura estudia «la relación de la música con la sociedad y la cultura [e] informa sobre las analogías entre música y sus referentes en la historia y la tradición» (Villar-Taboada, 2018: 54). Este enfoque se concentra en el compositor, la crítica, los intérpretes y todos los actores que actúan en el hecho musical, situándolos dentro de un espacio mayor –marco cultural e histórico– y proponiendo referencias cruzadas que dotan de significado y sentido a los elementos implicados, y las razones que llevan a los autores –consciente o inconscientemente– a introducirlos en su música.

Acotado a la obra, en un nivel de concreción mayor, actúa la morfoestructura. Este atañe a las conexiones entre los elementos que componen los distintos parámetros musicales y su organización en el tiempo, así como la relación entre todos ellos. Tal y como el propio Villar-Taboada: «La morfoestructura [está] centrada en la relación de la música consigo misma y [...] reporta las concordancias estructurales entre los diversos planos organizativos de su discurso (Villar-Taboada, 2018: 54) »

Por otra parte, se ha recurrido al análisis dialéctico de Alfonso Padilla, que aporta reflexiones prácticas sobre el planteamiento y el proceso analítico. Un punto de partida adecuado es la siguiente pregunta: ¿en qué consiste el análisis musical? A esta pregunta, Padilla propone una respuesta genérica:

El análisis está dirigido a revelar, poner al descubierto la estructura interna de un corpus musical, sus normas y principios formales, las técnicas compositivas utilizadas. Este análisis responde a las preguntas de cuál es el contenido musical de una obra o pieza, cuál es su estructura, como está concebida y realizada (Padilla, 1995: 80).

El enfoque expuesto, por tanto, se centra en la investigación del «contenido musical», su «estructura» y cómo está «concebida» y «realizada» la obra.

Uno de los problemas fundamentales cuando se transita entre lenguajes tan diversos es el trazado de la organización del discurso sonoro. Por encima del debate entre forma y estructura –sobre las cuales existen distintos posicionamientos– ofrece dejar atrás esta dicotomía, planteando la búsqueda de criterios que superen estos conceptos. Al encontrarse con una gran variedad de propuestas estructurales, se ha optado por el término «articulación discursiva», que estudia tanto el concepto de forma –tradicional– como el de estructura, atendiendo a diferentes criterios que abarcan las relaciones internas, los procesos discursivos y la distribución de los eventos.

Por otra parte, para el examen de los procedimientos discursivos<sup>2</sup> que determinan el devenir musical he acudido a las «figuras» que propone Sciarrino, en su texto *Le figura della musica da Beethoven a oggi* (1998). En este ensayo, define un conjunto de conceptos musicales

<sup>2</sup> Como procedimiento discursivo entiendo todo aquellos rasgos paramétricos que definen la actuación musical y su comportamiento durante un periodo acotado.

relacionados con la creación pictórica, que constituyen herramientas que los compositores han utilizado a lo largo de la historia para estructurar perceptiblemente el flujo temporal.

En la metodología propuesta se utilizan la acumulación, la multiplicación y el *Little bang*, a la hora de interpretar los documentos gráficos derivados del análisis de señales, lo que se combinan de forma adecuada con la visión del análisis musical como el estudio de un flujo temporal. Las dos primeras están conectadas con el crecimiento y conforman dos caras de una misma moneda, que difieren según sus componentes sean heterogéneos (acumulación) u homogéneos (multiplicación). Además, es posible que actúen conjuntamente y que la primera se integre dentro de la segunda.

Por otro lado, el *Little bang*, al contrario que los dos anteriores, es de muy corta duración, prácticamente puntual, y consiste en un cambio brusco de energía sonora producida por modificaciones extremas en la cantidad de instrumentos, el registro, la intensidad y la articulación. Se sitúa a un nivel perceptivo y no exclusivamente de forma gráfica (Giacco, 2001: 99).

Por último, y como elemento fundamental de la propuesta de este artículo, es necesario citar el movimiento o tendencia analítica *MIR*. No proviene de un autor o de un grupo de autores concreto, sino que esta denominación abarca a una comunidad –internacional– enorme, que tienen intereses comunes centrados en elaborar, desarrollar e implementar herramientas aplicadas a la extracción de información de las señales de audio digital. La implementación más habitual de este enfoque consiste en la creación de aplicaciones comerciales y herramientas enfocadas a la extracción de información de músicas populares urbanas.

Dentro de estas aplicaciones existen distintas vías de desarrollo que permiten desde un control inexistente hasta el diseño de herramientas personalizadas. Estas últimas oscilan entre el lenguaje de alto nivel y el lenguaje de bajo nivel<sup>3</sup>. El posicionamiento de las herramientas seleccionadas –*MIRtoolbox*– ofrece una gran flexibilidad y personalización del protocolo, a partir de procesos basados en módulos de acciones básicas –y, por lo tanto, reconfigurables–, que se pueden modificar con un lenguaje de alto nivel en Matlab<sup>4</sup>.

un conjunto integrado de funciones escritas en Matlab, dedicadas a la extracción de características musicales de archivos de audio. El diseño se basa en un marco modular: los diferentes algoritmos se descomponen en etapas, formalizadas utilizando un conjunto mínimo de mecanismos elementales e integrando diferentes variantes propuestas por enfoques alternativos –incluyendo nuevas estrategias que hemos desarrollado–, que los usuarios pueden seleccionar y parametrizar [Traducción del autor]<sup>5</sup>.

La propuesta analítica, por tanto, pretende conjugar los puntos señalados de los sistemas de Nattiez, Villar-Taboada, Padilla y las «figuras» de Sciarrino con los presupuestos del enfoque *MIR* –en la variante especificada– que se concretan en un modelo práctico adaptado al objeto de estudio y, potencialmente, aplicable a otras obras del repertorio sinfónico contemporáneo.

<sup>3</sup> Los lenguajes de bajo nivel interactúan directamente con la arquitectura de la máquina, mientras que los de alto nivel permiten la migración de unos equipos a otros por medio de lenguajes estandarizados (Java, PHP, Python, etc.).

<sup>4</sup> Aunque está programado en C y en Java, el trabajo con el *software* se realiza por medio de un lenguaje de programación propio denominado «lenguaje M».

<sup>5</sup> «an integrated set of functions written in Matlab, dedicated to the extraction of musical features from audio files. The design is based on a modular framework: the different algorithms are decomposed into stages, formalized using a minimal set of elementary mechanisms, and integrating different variants proposed by alternative approaches – including new strategies we have developed –, that users can select and parametrize» (Lartillot y Toiviainen, 2007: 1).

## 2. METODOLOGÍA ANALÍTICA

Seguidamente, se explicarán todos los aspectos relevantes que componen la metodología analítica y que se sustentan en los planteamientos tomados en consideración y explicados anteriormente. A continuación se detallan: los pasos que se van a seguir y cómo se ven reflejados en la redacción de los resultados, los principios metodológicos que inspiran la metodología, la enumeración y la explicación de las herramientas digitales aplicadas y su relación con los parámetros que se estudian en cada obra.

## 3. PROCESO ANALÍTICO

El proceso se inicia con una toma de contacto con la obra y con el acopio de la bibliografía y las fuentes. Además, se deben conocer, a grandes trazos, los rasgos más significativos de la estética y la poética musical del compositor.

El primer gran bloque de estudio se centra en el compositor y su producción musical. El siguiente paso, una vez elaborada la parte biográfica, consiste en completar el estado de la cuestión acerca de la producción, el catálogo, la estética y la poética musical del compositor. Se ponen de relieve aquellas informaciones relativas a: el estilo compositivo –conectado con la estética–, los periodos durante los que discurre su trayectoria creativa y los trabajos existentes sobre su obra musical.

Concluida esta primera parte, el proceso se centra en la obra. El orden planteado es muy relevante, puesto que esta metodología se concibe deductivamente –de lo general a lo particular–, los resultados que se han obtenido durante el estudio paramétrico tienen un contexto documentado donde significarse –una constatación o un desvío estilístico o estético, siendo ambas posibilidades valiosas–. Previamente al análisis entendido de manera tradicional, se efectúa una revisión crítica de toda la información recopilada sobre el título y el subtítulo, la plantilla, la fecha de escritura, su situación en la trayectoria vital y musical del compositor, el origen de la obra, los datos del estreno, las grabaciones y las ediciones existentes.

Para poder comenzar el estudio, es necesario elaborar un planteamiento estructural que, posteriormente, puede ser modificado, fruto de un primer contacto con la grabación, la partitura y los resultados de los procesos Audio y Seg (los cuatro)<sup>6</sup>. Solo después de este paso será posible desarrollar el examen completo a los fragmentos adecuados<sup>7</sup>. Es una etapa de crucial importancia que únicamente se debe sobrepasar cuando se esté completamente seguro de la estructura definida. Una vez que el resultado es coherente y satisfactorio, se examinan, definitivamente, los resultados obtenidos junto con la partitura y la audición. En la figura 1 se representa de manera esquemática este proceso.

<sup>6</sup> Procesos de análisis digitales dedicados al estudio de la segmentación.

<sup>7</sup> Cabe destacar que los fragmentos analizados en Matlab no deben ser de unas dimensiones muy pesadas (con relación a la memoria). Algunos procesos (principalmente los relacionados con la altura «Alt») no soportan este tipo de archivos, puesto que ciertas operaciones implican una gran complejidad y un inmenso volumen de cálculos.

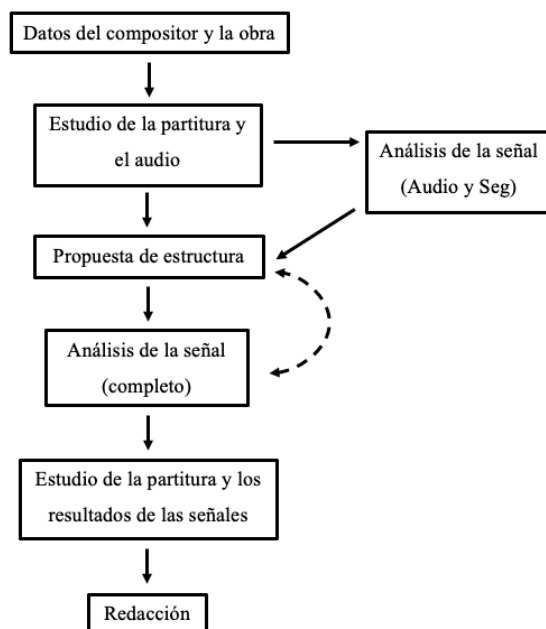


Figura 1. Esquema del proceso analítico. Fuente: Elaboración propia

#### 4. PRINCIPIOS METODOLÓGICOS

A continuación se concretan los fundamentos metodológicos que se derivan del marco teórico expuesto. Se trata de una serie de principios que inspiran todo el proceso analítico y que se reflejan en las opciones asumidas con respecto a la planificación, las herramientas escogidas y su fórmula de aplicación y el tratamiento de los resultados obtenidos.

La propuesta que se presenta parte de unos componentes heterogéneos que posee una vocación holística, ya que se pretende estudiar el fenómeno musical incluyendo a su contexto. Además, esta heterogeneidad se reconoce en las herramientas analíticas utilizadas, las cuales incluyen procedimientos tradicionales –audición y trabajo sobre la partitura–, con múltiples rasgos –las figuras de Salvatore Sciarrino, varios modelos de cifrado, representaciones gráficas con colores sobre las partituras, etc.–, y ligadas al desarrollo de las tecnologías –instrumentos digitales para el estudio de las señales– representativas del siglo XXI (Müller, 2015: viii).

Por otro lado, se combinan dos enfoques, relacionados con las herramientas, el planteamiento utilizado y las conclusiones obtenidas posteriormente. Esta metodología mezcla un enfoque descriptivo –generando una inmensa cantidad de datos a partir del análisis de señales y el estudio de la partitura y las grabaciones–, con otro interpretativo –valoración y evaluación de los resultados–. Asimismo, se pretende producir información que surja de la comparativa entre las distintas fuentes (metaanálisis). Esto se reproduce internamente en cada obra, combinando los resultados obtenidos a partir de la revisión documental de cada autor con los emergidos del análisis. A su vez, se cotejan y comparan las deducciones obtenidas de la partitura y de la audición (subjetivos) con los datos generados

por las herramientas digitales (objetivos). La concreción de toda la metodología en unos pasos tasados y cristalizados en un modelo idéntico para todos los análisis específicos, permite comparar los resultados y así extraer conclusiones sobre cada obra en particular, facilitando el estudio de categorías más amplias, como en el caso del «concierto para orquesta» en España en el siglo XXI (Trabalón, 2022b).

Por último, esta metodología es deductiva, acorde con su objetivo principal. Se pretende aportar información de un fenómeno concreto sin desvincularlo de su contexto y de las investigaciones previas, aunque aportando información original, sin ceñirse a constatar o refutar el conocimiento preexistente.

## 5. ESTUDIO DE LAS SEÑALES DE AUDIO

La tendencia MIR es el marco teórico a partir del que se ha planteado el estudio de las señales de audio. Este enfoque analítico se basa en la extracción de información cuantitativa para establecer una descripción del fenómeno sonoro lo más objetiva posible. Las investigaciones desde dicho enfoque de la investigación musical han venido desarrollándose y expandiéndose a lo largo del siglo XXI, existiendo hoy en día una gran cantidad de bibliografía en torno a esta forma de trabajo en el campo musical. Muestra de ello es la existencia de una organización internacional que agrupa y coordina proyectos de investigación y actividades en todo el mundo: ISMIR<sup>8</sup>.

La implementación de esta perspectiva analítica se efectúa por medio de MIRtoolbox, un conjunto de herramientas digitales creadas por Olivier Lartillot, Petri Toiviainen, Pasi Saari y Tuomas Eerola, miembros del Finnish Centre of Excellence in Interdisciplinary Music Research, accesible en la web de la Universidad de Jyväskylä de Finlandia (MIRtoolbox, 2022) y que se define:

MIRtoolbox ofrece un conjunto integrado de funciones escritas en Matlab, dedicadas a la extracción a partir de archivos de audio de características musicales como la tonalidad, el ritmo, las estructuras, etc. El objetivo es ofrecer una visión general de los enfoques computacionales en el área de la recuperación de información musical. El diseño se basa en un marco modular: los diferentes algoritmos se descomponen en etapas, formalizadas mediante un conjunto mínimo de mecanismos elementales. Estos bloques de construcción forman el vocabulario básico de la caja de herramientas, que luego puede articularse libremente de nuevas formas originales. Estos mecanismos elementales integran todas las diferentes variantes propuestas por enfoques alternativos –incluyendo las nuevas estrategias que hemos desarrollado–, que los usuarios pueden seleccionar y parametrizar. Este compendio sintético de herramientas de extracción de características permite capitalizar la originalidad que ofrecen todas las estrategias alternativas. Además de los procesos computacionales básicos, la caja de herramientas también incluye herramientas de extracción de rasgos musicales de nivel superior, cuyas estrategias alternativas, y sus múltiples combinaciones, pueden ser seleccionadas por el usuario [Traducción del autor]<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> International Society of Music Information Retrieval (ISMIR, 2022).

<sup>9</sup> «MIRtoolbox offers an integrated set of functions written in Matlab, dedicated to the extraction from audio files of musical features such as tonality, rhythm, structures, etc. The objective is to offer an overview of computational ap-

Para la comprensión práctica de los procesos se aconseja la consulta del manual de *MIRtoolbox* (Lartillot, 2018). Sin embargo, para una profundización en los principios matemáticos y metodológicos que se han utilizado se recomienda el texto de Meinard Müller: *Fundamentals of Music Processing. Audio, Analysis, Algorithms, Applications* (2015).

En el año 2014 comencé a trabajar con la versión 1.5, pero para recientes trabajos se ha utilizado la 1.7.1<sup>10</sup>. *MIRtoolbox* se ha desarrollado y se aplica en Matlab, una plataforma de programación y cálculo numérico diseñada para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. El código completo, en orden de validación, está recogido en las notas al pie donde se explican cada uno de los procesos.

La metodología consiste en la mejora de un sistema implementado en el repertorio de música electroacústica que se elaboró en investigaciones previas (Trabalón, 2015; 2022a; 2022b). En el código se han especificado las variables, que en este entorno siempre son letras («a», «b», «c», etc.), para continuar su estructura lógica<sup>11</sup>. Los pasos ordenados que se deben seguir son: carga del audio, y estudio de la segmentación (cuatro procesos), la amplitud (dos procesos), la altura (cuatro procesos), los eventos (siete procesos), la temporalidad (tres procesos) y el timbre (siete procesos).

En primer lugar, se extrae la representación gráfica de la intensidad en el tiempo con el eje de 0 dB, que se genera automáticamente al validar el código de carga del audio (Audio)<sup>12</sup>.

Los procesos de análisis relacionados con la segmentación son cuatro:

- Seg1<sup>13</sup>: segmentación por medio de una matriz de auto-similitud (Müller, 2015: 207-214; Lartillot, 2018: 175-176).
- Seg2<sup>14</sup>: segmentación por detección de silencios. Se toma, por defecto, la duración de 0.07<sup>15</sup> segundos (Lartillot, 2018: 82-85).
- Seg3<sup>15</sup>: segmentación por detección de cambio armónico (Lartillot, 2018: 164).
- Seg4<sup>16</sup>: segmentación basada en el análisis del espectro.
- La amplitud (intensidad) se analiza por medio de dos procesos:
- Amp1<sup>17</sup>: extracción de la envolvente a partir del uso de filtros pasa bajos, siendo previamente realizada una transformada de Hilbert (Lartillot, 2018: 30-36).
- Amp2<sup>18</sup>: extracción de la envolvente a partir del cálculo de la media cuadrática *–root mean square energy–* (Lartillot, 2018: 79-81).

---

proaches in the area of Music Information Retrieval. The design is based on a modular framework: the different algorithms are decomposed into stages, formalized using a minimal set of elementary mechanisms. These building blocks form the basic vocabulary of the toolbox, which can then be freely articulated in new original ways. These elementary mechanisms integrates all the different variants proposed by alternative approaches - including new strategies we have developed -, that users can select and parametrize. This synthetic digest of feature extraction tools enables a capitalization of the originality offered by all the alternative strategies. Additionally to the basic computational processes, the toolbox also includes higher-level musical feature extraction tools, whose alternative strategies, and their multiple combinations, can be selected by the user» (*MIRtoolbox*, 2022).

<sup>10</sup> No existen variaciones significativas entre ambas versiones, de hecho todo el código se puede utilizar desde la versión 1.5

<sup>11</sup> Si se modifica una variable (por ejemplo, se sustituye la letra «a» por la letra «b») no generará resultados correctos o, directamente, no funcionará.

<sup>12</sup> Código: a = miraudio (“ruta del archivo de audio”)

<sup>13</sup> Código: mirsegment(a, ‘Novelty’)

<sup>14</sup> Código: mirsegment(a, ‘RMS’, ‘On’, 0.07)

<sup>15</sup> Código: mirsegment(a, ‘HCDF’)

<sup>16</sup> Código: mirsegment(a, ‘Spectrum’, ‘KernelSize’, 150, ‘Contrast’, .1)

<sup>17</sup> Código: mirenvelope(a, ‘Filter’, ‘Hilbert’)

<sup>18</sup> Código: mirrms(a)

- El parámetro de la altura se estudia por medio de cuatro procesos:
- Alt1<sup>19</sup>: detección de las alturas predominantes a través de la descomposición de la señal con la aplicación de la función de autocorrelación de manera estándar y «mejorada» (Tolonen y Karjalainen, 2000). Por último, se vuelve a aplicar una función de autocorrelación, pero expresando el resultado en el dominio de la frecuencia (Lartillot, 2018: 50-57).
- Alt2<sup>20</sup>: detección de las alturas predominantes en el tiempo por medio del reconocimiento de los ataques, donde los valores *hop factor* y *window length* –análisis FFT– sean, respectivamente, 10-46.4 ms y la banda de detección de frecuencias se establece entre los 20-18000 Hz (Lartillot, 2018: 141-145).
- Alt3<sup>21</sup>: detección de las alturas predominantes a través de la localización de los ataques (Lartillot, 2018: 141-145).
- Alt4<sup>22</sup>: detección de las notas predominantes expresadas por medio de un cromagrama con gradaciones de colores –más presente cuanto más intenso es el color amarillo, menos presente cuanto mayor intensidad del color azul– (Lartillot, 2018: 149-152).

La organización, localización y distribución de los eventos sonoros y sus características se analizan por medio de siete procesos:

- Eve1<sup>23</sup>: medida de la distancia entre los diferentes *frames*, con la función *mirflux* (Lartillot, 2018: 58-61). Valor del coeficiente: 0-40.
- Eve2<sup>24</sup>: detección de los eventos a partir del análisis de las variaciones de amplitud (Lartillot, 2018: 90-98). Valor del coeficiente (amplitud): 0.0-1.0.
- Eve3<sup>25</sup>: detección de los tiempos de ataque de las alturas para localizar los eventos (Lartillot, 2018: 114-115). Valor del coeficiente: 0.0-2.5 segundos.
- Eve4<sup>26</sup>: medida del grado de entropía en el tiempo (Lartillot, 2018: 188-189). Valor del coeficiente: 0.0-1.0
- Eve5<sup>27</sup>: estudio de la probabilidad de cambio en los procesos sonoros (Lartillot, 2018: 171-174). Valor del coeficiente: 0.0-1.0
- Eve6<sup>28</sup>: análisis del comportamiento interno de la periodicidad rítmica de los eventos (Lartillot, 2018: 85-87). Valor del coeficiente: 0-25.
- Eve7<sup>29</sup>: medida de la densidad de eventos en el tiempo (Lartillot, 2018: 99). Valor del coeficiente 0.0-7.0.
- La temporalidad es un parámetro que se analiza por medio de tres procesos:

<sup>19</sup> Código: ac = mirautocor(a) ad = mirautocor(ac,'Enhanced',2:10) mirautocor(ad,'Freq', 'Min', 20, 'Hz', 'Max', 18000, 'Hz')

<sup>20</sup> Código: b = mirframe(a, 'Length', 1) mirpitch(b, 'Frame', 'Min', 20, 'Max', 18000)

<sup>21</sup> Código: o = mironsets(a,'Attacks') sg = mirsegment(a,o) mirpitch(sg)

<sup>22</sup> Código: mirchromagram(a, 'Frame')

<sup>23</sup> Código: mirflux(mirautocor(a,'Frame')

<sup>24</sup> Código: mirevents(a,'Detect','Peaks')

<sup>25</sup> Código: mirattacktime(a, 'Lin')

<sup>26</sup> Código: e = mirenvelope(a) fe = mirframe(e,.1,1) mirentropy(fe)

<sup>27</sup> Código: mirnovelty(fe)

<sup>28</sup> Código: mirfluctuation(fe, 'Summary')

<sup>29</sup> Código: mireventdensity(a,'Frame')



- Tem1<sup>30</sup>: detección del *tempo* estimado expresado en BPM (Toivianen y Snyder, 2003; Mckinney et al., 2007; Lartillot, 2018: 100-105). El resultado se plasma en un número (Lartillot, 2018: 100-105)<sup>31</sup>.
- Tem2<sup>32</sup>: evolución temporal por medio del cálculo del tiempo entre las variaciones espectrales (*ibid.*).
- Tem3<sup>33</sup>: evolución temporal a través de la medida de la periodicidad de los eventos expresando los valores recurrentes en un histograma (*ibid.*).

Por último, el parámetro del timbre se estudia a través de siete procesos que analizan las características espectrales de la señal de audio:

- Tim1<sup>34</sup>: evaluación del brillo que resulta del cálculo de la cantidad de energía presente en las frecuencias agudas. La frecuencia de corte se establece en 1500 Hz (Lartillot, 2018: 131-132). Valor del coeficiente: 0.0-1.0.
- Tim2<sup>35</sup>: estudio de la rugosidad que calcula el grado de «disonancia» a partir de la interferencia producida por los picos de frecuencias cercanas aplicando la variante «Vassilakis» de la función. La rugosidad es la estimación de la disonancia sensorial a partir del cómputo del espectro y el cálculo de la media de todas las disonancias entre pares de picos de distorsión (Lartillot, 2018: 137-138). Valor del coeficiente: 0-20.
- Tim3<sup>36</sup>: estudio del centroide espectral, que consiste en la media geométrica del espectro (Lartillot, 2018: 181). Valor del coeficiente: 0-6000.
- Tim4<sup>37</sup>: análisis del grado dispersión espectral, que evalúa la desviación estándar de la varianza espectral (Lartillot, 2018: 183). Valor del coeficiente: 0-10000.
- Tim5<sup>38</sup>: evaluación de la regularidad espectral, que valora el grado de variación de los sucesivos picos del espectro (Lartillot, 2018: 1139-140). Valor del coeficiente: 0.0-2.0.
- Tim6<sup>39</sup>: estudio del *spectral flatness*, que consiste en el análisis del perfil de comportamiento espectral, resultado de la relación entre la media geométrica y la media aritmética de los parciales (Lartillot, 2018: 187). Valor del coeficiente: 0.0-0.3.
- Tim7<sup>40</sup>: grado de entropía espectral, que se estudia por medio de la ecuación de Shannon, que valora el perfil de la curva de comportamiento de la intensidad a partir de la formulación de este concepto –entropía– tal y como está establecido en la teoría de la información (Lartillot, 2018: 188-189). Valor del coeficiente: 0.4-0.9.

Todas las representaciones gráficas se generan automáticamente después de validar el código. En los procesos analíticos donde el coeficiente no es una magnitud estándar, como el tiempo o la intensidad, se han indicado los valores entre los que oscila –los cuales son

<sup>30</sup> Código: mirtempo(a, 'Track', 0.1)

<sup>31</sup> En este ejemplo es 113.3667 BPM.

<sup>32</sup> Código: mirtempo(a, 'Total', 'Frame', 'Min', 20, 'Spectrum')

<sup>33</sup> Código: t = mirtempo(a, 'Periodicity', 'Frame') mirhisto(t)

<sup>34</sup> Código: mirbrightness(a, 'Frame')

<sup>35</sup> Código: mirroughness(a, 'Vassilakis')

<sup>36</sup> Código: c = mirspectrum(a, 'Frame') mircentroid(c)

<sup>37</sup> Código: mirspread(c)

<sup>38</sup> Código: mirregularity(c)

<sup>39</sup> Código: mirflatness(c)

<sup>40</sup> Código: mirentropy(c)

un resultado numérico del algoritmo implementado– con el fin de poder apreciar los datos. Estos umbrales no aparecen en todos los gráficos debido a que, por defecto, MIRtoolbox normaliza la función adaptándola a los resultados más cercanos que ofrezca ese proceso en concreto.

## 6. ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Una vez se han evaluado todas las características sonoras y su desarrollo en el tiempo, se estudian los rasgos de la composición a partir de los datos obtenidos, la revisión de la partitura y la audición. La información se organiza en torno a seis bloques, que parten de los cuatro parámetros del sonido (altura, timbre, intensidad y duración), a los que se suman la articulación discursiva y la textura, dando como resultado, en orden: articulación discursiva, altura, temporalidad, timbre, intensidad y textura. La secuenciación responde a la necesidad de aportar un orden lógico que favorezca la exposición y la comprensión de los principales rasgos y no representa los pasos efectuados cronológicamente, ya que, para obtener unos resultados sobre el primer punto –la articulación discursiva–, es necesario haber escrutado la partitura y los análisis de señales previamente.

A continuación, se exponen, en ese orden, todos los elementos que son objeto de estudio dentro de cada apartado y, aunque no exista una correspondencia directa –y definitiva– entre una herramienta y la evaluación de un parámetro, se han trazado algunas conexiones entre qué se estudia y qué proceso analítico es aplicado para obtener, *a priori*, una información significativa. En cada caso será evaluada, seleccionando aquellas que aporten datos más valiosos y vinculados con las conclusiones extraídas de la partitura.

El escrutinio de la articulación discursiva aporta información acerca del número y la organización de los movimientos, las secciones y las subsecciones; sus características; los criterios de estructuración; los rasgos y las funciones de las grandes secciones; los modelos de articulación interna; y la lógica y los procedimientos discursivos implicados.

La estructura se plantea a partir de dos niveles de articulación: macroestructura y microestructura. La primera hace referencia a los movimientos o, si la obra consta de un solo movimiento, a las grandes secciones. La microestructura corresponde con la articulación interna de estas partes, abarcando las subsecciones y su contenido.

Los criterios de articulación generales son tres: «sónico», «contextual» y «estructural» y se concretan en las características paramétricas (Hanninen, 2001: 359-387). Cada uno tendrá un peso específico según el lenguaje del compositor, abarcando los centros tonales, los motivos, los cambios en la instrumentación, y cualquier otro aspecto modifique su comportamiento y resulte significativo. No son excluyentes entre ellos y, normalmente, actúan varios a la vez.

Posteriormente, se estudian los modelos de articulación interna predominantes. Dependen de cada lenguaje y de su aplicación en cada obra, pero se agrupan en tres conjuntos que no son excluyentes entre sí. El primero corresponde con los procedimientos tradicionales, que provienen de los sistemas modales y tonales: cadencias, progresiones (modelo y repeticiones), fraseo, agrupamiento de compases, etc. El segundo está relacionado con recursos específicos, como la utilización del silencio o el *crossfade*. Y, el tercero, abarca a los procedimientos que rigen la lógica discursiva, los cuales se explican a continuación.

Una vez establecidos los rasgos anteriores, se definen las lógicas discursivas predominantes, de toda la obra o en cada momento determinado, atendiendo al uso

del contraste, la regularidad, el grado de continuidad, o la direccionalidad, entre otros. Igualmente, se analizan los procedimientos discursivos más representativos, localizándolos en la obra y relacionándolos con las funciones, la lógica discursiva y la articulación. A nivel general se encuentran tres: crecimiento, decrecimiento y estabilidad o estaticidad.

El concepto de crecimiento alude a un tipo de comportamiento musical que presente en el modelo analítico de Jean LaRue<sup>41</sup>, quien lo define como una continuación expansiva que aporta la sensación de ir logrando algo permanentemente (LaRue, 2007: 88). El fenómeno contrario lo representa el decrecimiento. Por su parte, la estabilidad o estaticidad se define como la ausencia de los anteriores, por lo que no se perciben modificaciones ni cambios en el flujo musical. La combinación de estos tres genera las curvas de comportamiento que caracterizan a las secciones y a las subsecciones y que responden tanto a patrones propios y sin ningún tipo de organización estereotipada –aunque en pocas ocasiones–, como a fórmulas reconocibles: arco, arco invertido, crecimiento, decrecimiento, etc. Los procedimientos, en una o varias etapas, se orientan a distintos nodos (de menos a más, de más a menos o fluctuando), pero durante el segmento temporal que abarcan se desarrollan de dos maneras, mayoritariamente: estadística o lineal.

Estos dos términos provienen de la estadística matemática y del comportamiento de las funciones –y su representación gráfica–. Un crecimiento lineal se produce cuando se progresa de la misma manera contantemente –con desvíos mínimos–; por ejemplo,  $f(x) = 2x$ . Por otro lado, será un comportamiento estadístico cuando la gráfica realice el proceso que corresponda –crecimiento o decrecimiento–, pero la modificación de sus valores no siga un patrón estable. Además, existen otros modelos, como el exponencial, que está conectado con el *Little bang*, regido bajo la función  $f(x) = x^y$ . Estas conductas son aplicables a todas las gráficas que contengan el tiempo como magnitud en el eje x, independientemente del parámetro que se estudie.

Las «figuras» que propone Sciarrino (1998: 17-66) se emplean como marco conceptual del análisis de los procedimientos discursivos que determinan el devenir musical. En esta metodología se recurre a: la acumulación, la multiplicación y el *Little bang*. No son incompatibles entre ellas y su mayor utilidad radica, además de describir los fenómenos discursivos, en clasificar las múltiples técnicas compositivas empleadas por los compositores estudiados, en una taxonomía sencilla, acotada, comparable y clara.

Dentro del parámetro de la altura, se describe cuál es el sistema de organización –clasificándolo, si es posible, mediante categorías y modelos tradicionales– y se estudian los recursos y los procedimientos de los planos vertical y horizontal, así como las relaciones entre ambos.

Los procesos analíticos de señales utilizados para estudiar los diversos aspectos señalados se recogen en la figura 2. Son muy relevantes los relacionados con el campo de la altura y, sobre todo, Alt4, que aporta una información significativa a la hora de identificar la centralidad en largos segmentos.

<sup>41</sup> Este concepto se ha utilizado, con diferentes nombres, de manera extensiva y común a lo largo de la historia de la disciplina analítica, pero LaRue ha sido quien lo ha conceptualizado y sistematizado dentro de su propuesta analítica, sintetizada en el libro *Análisis del estilo musical* (LaRue, 2007).

Figura 2. Esquema de relaciones entre parámetros y herramientas digitales. Fuente: Elaboración propia

<b>ARTICULACIÓN INTERNA</b>		
Aspectos estudiados	Procesos analíticos de señales	
	Principales	Secundarios
Estructuración: secciones y subsecciones	Todos	—
Características de los movimientos, subsecciones y secciones	Todos	—
Lógica discursiva	Audio, Seg1, Seg3, Seg4, Amp1, Amp2, Eve1, Eve2, Eve3, Eve4, Eve5, Eve6, Eve7	Alt3, Alt4, Tem2, Tem3
Procedimientos discursivos	Audio, Amp1, Amp2, Eve1, Eve2, Eve3, Eve4, Eve5, Eve7, Tem2,	Alt1, Alt2, Al3, Alt4, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7
Modelos de articulación interna	Seg1, Seg2, Seg3, Seg4, Eve4, Eve5	Amp1, Amp2, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7
<b>ALTURA</b>		
Aspectos estudiados	Procesos analíticos de señales	
	Principales	Secundarios
Sistema de organización de las alturas	Alt4	Seg3, Alt1, Alt2, Alt3
Recursos y procedimientos verticales	Seg3, Seg4, Alt4,	Alt1, Alt2, Alt3, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7
Recursos y procedimientos horizontales	Alt1, Alt2, Alt3, Alt4, Eve4, Eve5,	Seg3, Seg4, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7
Relación entre el plano vertical y el plano horizontal	Seg3, Seg4, Alt1, Alt2, Al3, Alt4	Seg1, Eve4, Eve5, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7
<b>TEMPORALIDAD</b>		
Aspectos estudiados	Proceso analítico de señales	
	Principales	Secundarios
<i>Tempi</i>	Tem1, Tem2, Tem3	—
Agógica	Tem2, Tem3	Eve1, Eve3, Eve4, Eve5, Eve6, Eve7
Métrica	Tem2, Tem3	Seg1, Eve1, Eve3, Eve4, Eve5, Eve6
Ritmo y figuración	Tem2	Seg4, Eve1, Eve3, Eve4, Eve5, Eve6, Eve7

<b>TIMBRE</b>		
Aspectos estudiados	Procesos analíticos de señales	
	Principales	Secundarios
Plantilla: características sonoras	Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7	Alt1, Alt2, Alt3
Relación interna entre instrumentos	Tim1, Tim2, Tim3, Tim7	Seg4, Alt1, Alt2, Alt3
Escritura instrumental	-	-
Orquestación: modelos y tipos	Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7	Audio, Seg1, Seg3, Seg4, Amp1, Amp2, Al1, Alt2, Alt3, Eve5, Eve7

<b>INTENSIDAD</b>		
Aspectos estudiados	Procesos analíticos de señales	
	Principales	Secundarios
Procesos de crecimiento y decrecimiento: tipos de perfiles	Audio, Amp1, Amp2	-
Relación entre los procesos dinámicos y la estructura	Audio, Amp1, Amp2	Seg1, Seg2
Uso de indicaciones dinámicas	Audio, Amp1, Amp2	-
Dinámicas y planos sonoros	Audio, Amp1, Amp2	-

<b>TEXTURA</b>		
Aspectos estudiados	Proceso analítico de señales	
	Principales	Secundarios
Tipos de textura	Alt1, Alt2, Alt3, Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7	Seg1, Amp1, Amp2, , Eve1, Eve2, Eve3, Eve4, Eve7, Tem2
Relación entre textura y estructura	Seg1, Seg2, Seg4, Alt1, Alt2, Alt3 Tim1, Tim2, Tim3, Tim4, Tim5, Tim6, Tim7	Audio, Amp1, Amp2, Eve1, Eve2, Eve3, Eve4, Eve7, Tem2,

En el subapartado dedicado a la temporalidad se analizan los *tempi*, la agógica, la métrica, el ritmo y la figuración.

Para obtener una visión de conjunto, y sobre los detalles de pasajes concretos, sobresale la información obtenida de los aquellos ligados a la temporalidad –Tem1, Tem2, y Tem3–En el estudio de este parámetro se presta especial atención es la conexión entre la escritura, la aplicación del compás, la figuración y el resultado sonoro. La comparación entre secciones de la partitura y los datos obtenidos de los análisis digitales, expresados en BPM, son muy significativos, favoreciendo la extracción de conclusiones relacionadas con la percepción del oyente. En muchas ocasiones son difíciles de reconocer con la revisión de la partitura y, principalmente, cuando se tratan de obras para grandes conjuntos instrumentales con

diversos planos superpuestas. De esta manera, se dirige hacia el conocimiento del resultado real y no se restringen las observaciones personales, cercanas, en ocasiones, a la especulación.

El timbre es uno de los parámetros que más se ha tenido en consideración a la hora de introducir las herramientas digitales. Tradicionalmente es poco estudiado y las conclusiones se reducen a impresiones poéticas o a vaguedades subjetivas. En esta metodología se aplican hasta siete procesos específicos que lo investigan y que son complementados por otros. El estudio se centra en la plantilla, el nexo interno entre los instrumentos, la escritura instrumental y la orquestación. La primera –la plantilla– no se reduce a una descripción, sino que se valoran cuáles son los efectivos presentes y se analizan los resultados sonoros atendiendo a los instrumentos implicados. Se trata, por tanto, de conectar los datos de los análisis digitales con aquellas informaciones constatables en la partitura.

Otra tarea consiste en catalogar todas aquellas técnicas dirigidas a obtener sonoridades de un fuerte carácter tímbrico y las que desarrollan las posibilidades técnicas de los instrumentos. De esta manera, se evalúa el tipo de escritura empleada –y su notación– conectándolas con el resultado sonoro. En el espectro se repasan los siguientes rasgos: brillo, rugosidad, centroide, dispersión, regularidad, *flatness* y entropía. Todos ellos son explicados en el apartado dedicado al estudio de las señales sonoras.

Para la representación de los resultados obtenidos se combinan tres recursos: el examen de los ejemplos extraídos de la partitura con indicaciones de colores y comentarios, los esquemas con las disposiciones características y las gráficas de los procesos de análisis digitales. En la figura 2 se incluyen los procesos analíticos digitales aplicados para cada cuestión estudiada, donde destacan los denominados «Tim», aunque se incluyan otros propios de la altura, la segmentación, la amplitud y los eventos. Para la evaluación de la escritura instrumental, el análisis se centra exclusivamente en el trabajo con la partitura.

El análisis del parámetro intensidad se centra en los procesos de crecimiento y decrecimiento –los tipos de curvas más relevantes–, la vinculación de estos procesos con la forma, el empleo de las indicaciones y el tratamiento dinámico en los planos sonoros.

Las curvas representan comportamientos en el tiempo y están íntimamente ligadas a los procedimientos discursivos. Todo lo explicado dentro del apartado de articulación discursiva sobre éstos está vigente. Las conductas de los perfiles también actúan de modo lineal o estadístico, siendo, en ocasiones, divisibles en distintas etapas, lo que da como resultado procesos complejos. Se analizan las gráficas, cotejadas con la partitura y la audición, para establecer la presencia o la ausencia de fórmulas estereotipadas, como las formas de arco o de arco invertido, y los grados de fluctuación. Para la evaluación de la correspondencia entre intensidad y estructura, destacan, por encima de cualquier otra herramienta, los procesos de análisis de las señales aplicados a la amplitud –Amp1, Amp2–.

Además, la representación de la *waveform* del audio completo (Audio), de los movimientos y de las grandes secciones provee de una visión de conjunto donde son reconocibles los desarrollos a gran escala.

Sobre la textura, se estudian los tipos utilizados, su pertenencia (o no) a modelos estereotipados, sus desviaciones y su relación con la forma.

Conceptualmente, se parte de la posibilidad de clasificar la textura respondiendo a dos preguntas: ¿cuántas voces o partes hay?, y ¿qué relaciones presentan entre ellas? Las herramientas digitales, en este caso, son complementarias, aportando una información que aporta solidez a las conclusiones obtenidas de la audición y el estudio de la partitura. No se ha especificado unos procesos analíticos concretos, como si sucede con la altura (Alt) o el timbre (Tim), pero los planteados en la figura 2 permiten, principalmente, realizar un

acercamiento objetivo a aquellas texturas que no responden a modelos de la tradición: como las texturas de «conglomerado», que se observan gráficamente de forma muy evidente por medio de los procesos relacionados con los eventos y la altura.

## 7. CONCLUSIONES

La inclusión de herramientas analíticas digitales en marcos teóricos que abarcan otros enfoques de la materia, enriquecen los estudios musicales aportando cierta objetividad a la hora de enfrentarse a fenómenos sonoros como el timbre o la distribución temporal de los eventos. Estas herramientas no son incompatibles con los procedimientos tradicionales –audición, lectura de partituras, etc.–, sino, que los enriquecen.

Un código y un protocolo abierto y de fácil acceso, como el realizado a partir de las herramientas de MIRToolbox, permiten adaptar la propuesta presentada a distintos objetos de estudio, resultando esta metodología un punto de partida flexible con potencialidad de adaptarse a las diferentes realidades de los repertorios actuales: música instrumental, música electrónica o propuestas mixtas.

El análisis musical tiene la oportunidad asumir una postura heterodoxa en sus fundamentos epistemológicos que le permita incluir herramientas, que sin suponer la panacea de la objetividad –al fin y al cabo, detrás de toda programación informática existe un investigador–, ayuden a profundizar en el estudio del fenómeno sonoro e interpretativo.

## BIBLIOGRAFÍA

- EEROLA, Tuomas: «Analysing Emotions in Schubert's *Erkönig*: a Computational Approach», *Music Analysis*, 29, 3, (2010), 214-233.
- GIACCO, Grazia: *La notion de "figure" chez Salvatore Sciarrino*, Paris: L'Harmattan, 2001.
- HANINEN, Doara A: «Orientations, Criteria, Segments: A General Theory of Segmentation for Music Analysis», *Journal of Music Theory*, 45/2, (2001), 345-433.
- ISMIR, (2023). Disponible en: <https://ismir.net/> (Consultado 30-05-2023).
- LARTILLOT, Olivier: *MIRtoolbox 1.7.1. User's Manual*, Oslo: University of Oslo, 2018. Disponible en: <https://www.jyu.fi/hytk/fi/laitokset/mutku/en/research/materials/mirtoolbox/manual1-7-1.pdf/@download/file/manual1.7.1.pdf> (Consultado 30-05-2023)
- LARUE, Jan: *Análisis del estilo musical*, Alcorcón: Mundimúsica, 2007.
- MCKINNEY, Martin F., MOELANTS, Dirk, DAVIES, Mathew E. P., Klapuri, Anssi: «Evaluation of Audio Beat Tracking and Music Tempo Extraction Algorithms», *Journal of New Music Research*, 36, 1, (2007), 1-16.
- MIRtoolbox, (2022). Disponible en: <https://www.jyu.fi/hytk/fi/laitokset/mutku/en/research/materials/mirtoolbox> (Consultado 30-05-2023)
- MÜLLER, Meinard: *Fundamentals of Music Processing. Audio, Analysis, Algorithms, Applications*, New York: Springer International Publishing, 2015.
- NATTIEZ, Jean J: *Music and Discourse. Toward a Semiology of Music*, Princeton: Princeton University Press, 1990.
- PADILLA, Alfonso: *Dialéctica y música. Espacio sonoro y tiempo musical en la obra de Pierre Boulez*, Helsinki: Acta Musicologica Fennica, 1995.

- SCIARRINO, Salvatore: *Le figura della música da Beethoven a oggi*, Milano: Ricordi, 1998.
- TRABALÓN RUIZ, Francisco Javier: *Herramientas digitales aplicadas al análisis de música electroacústica basada en la síntesis sonora: una propuesta metodológica*, Trabajo Fin de Máster, CSKG, 2015.
- TRABALÓN RUIZ, Francisco Javier: «Herramientas digitales aplicadas al análisis de música electroacústica basada en la síntesis sonora: una propuesta metodológica». En *Hoquet*, 20, 10, (2022a), 147-170.
- TRABALÓN RUIZ, Francisco Javier: *El «concierto para orquesta» en España (2001-2014): análisis técnico y pensamiento estético*. Tesis de doctorado, Universidad de Valladolid, 2022b.
- VILLAR-TABOADA, Carlos: «Canto humano a media voz: la obra para guitarra sola (1989-2002) de Claudio Prieto», *Roseta: revista de la Sociedad Española de la Guitarra*, 13, (2018).