

# RELACIONES ENTRE MÚSICA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA DURANTE EL SIGLO XX<sup>(\*)</sup>

*Leticia Sánchez de Andrés*

*Departamento de Música. Universidad Autónoma de Madrid*

## RESUMEN

*Para la construcción del conocimiento resulta imprescindible romper las barreras entre Ciencia, Humanidades y Artes. Esta afirmación, que parece evidente, no lo es tanto cuando se observa la escasez de investigaciones realmente interdisciplinarias que existen en este sentido, especialmente cuando el objeto de estudio es la Música y su vínculo con las Ciencias y la Tecnología. En este artículo pretendemos hacer un primer acercamiento a las posibilidades de este tipo de estudios, centrándonos en la Música culta contemporánea.*

## MÚSICA E INTERDISCIPLINARIEDAD

La Música es, sin duda, una de las artes que ejercen mayor fascinación e influencia, a nivel intelectual y afectivo, sobre el ser humano. Este aspecto hace aún más sorprendente que la Música, a pesar del interés que despierta en el hombre, no haya sido habitualmente estudiada en el ámbito de la ciencia moderna en relación con otras áreas de conocimiento -si excluimos sus vínculos con otras áreas de las Humanidades-. En la Musicología actual, es muy común realizar un análisis y acercamiento al objeto musical incorporando aspectos vinculados con el contexto histórico, político, sociológico, de género, etc. Sin embargo, el hecho científico queda, en general, obviado completamente y las investigaciones de físicos, biólogos, informáticos, ingenieros o médicos en relación a la Música son algo casi anecdótico, especialmente en nuestro país, aunque en el entorno anglosajón resulta más común encontrar este tipo de trabajos.

Existen algunas causas básicas que justifican la escasez de este tipo de estudios interdisciplinarios en el contexto español: en primer lugar, nuestra escasa formación musical, que nos lleva a considerar, en general, la música como objeto de ocio y consumo, sin penetrar en su importancia como parte de la cultura, relegándola a un estrato inferior entre las artes (muy por debajo de la literatura o las artes plásticas, por ejemplo); en segundo lugar, la influencia que, aún hoy en día, tiene sobre nosotros el tópico romántico de que la Música se construye en base a la inspiración, para satisfacer el sentimiento, lo cual la aleja, inevitablemente, de la Ciencia que es, según este mismo precepto romántico, algo cerebral, frío, etc.; por último, la enorme especialización de nuestra sociedad actual hace que se establezcan compartimentos estancos entre las ciencias y las humanidades, con la inevitable consecuencia de la falta de comprensión mutua y la incapacidad de unos y otros para acceder al lenguaje y paradigmas propios de ambos.

Sin embargo, la realidad no se adapta a estas limitaciones o prejuicios del teórico, y lo cierto es que, tanto la creación como el pensamiento musical han estado muy influidos, a lo largo de la historia, por el desarrollo de las nuevas teorías científicas, que no podemos dejar de tratar como un hecho cultural más. Los cambios de los paradigmas científicos modifican, inevitablemente la percepción y la comprensión del mundo, y los compositores y pensadores del ámbito musical no se mantienen ajenos a ello y, por su parte, muchos científicos manifiestan un sistema de pensamiento marcado por la influencia de la Música y manejan este arte como ciencia auxiliar para desarrollar algunas aplicaciones o teorías en sus respectivas áreas.

---

(\*) Este estudio se inscribe en el proyecto de investigación “Música, Ciencia y Pensamiento españoles e iberoamericanos en el siglo XX”, con referencia CCG10-UAM/HUM-5863, cuyas entidades financiadoras son la DGUI de la Comunidad de Madrid y la UAM.

## VÍNCULOS ENTRE LOS PROCESOS DE DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO Y LA CREATIVIDAD MUSICAL

Comencemos por señalar algunas de las similitudes intelectuales, psicológicas y emocionales existentes entre los procesos del descubrimiento científico y la creatividad musical.

El psicólogo norteamericano Paul C. L. Tang expone en sus estudios los puntos comunes de la actividad mental presentes en ambos procesos: 1) Especulación, 2) Imaginación creativa, 3) Conocimientos previos e inventiva, y 4) Selección y evaluación crítica. En ambos procesos existen aspectos puramente lógicos, pero también emocionales y pasionales.

Por su parte, el psiquiatra y neurólogo Robert S. Root-Bernstein, asegura que el pensamiento creativo es transdisciplinar y que las habilidades musicales y científicas son talentos correlativos. Incluso llega a definir un nuevo fenómeno de percepción neurológica: la *sinosia*; con este término se refiere la capacidad que manifiestan algunas personas de sentir, simultáneamente, de un modo multimodal y sintético, el sonido musical y la intuición científica. Entre los numerosos testimonios de notables científicos que cita Root-Bernstein y que relatan la importancia de la música en sus procesos de descubrimiento es especialmente interesante el de Richard Feynman (premio Nóbel de Física y, probablemente, el físico más creativo y original del siglo XX después de Einstein), que aseguraba que las ecuaciones que había descubierto para describir los fenómenos físicos más complejos se le manifestaban como sonidos particulares que él podía transmitir a sus colegas bien vocalmente, bien a través de glissandos en un instrumento o como secuencias rítmicas para tambores; incluso aseguraba que pensaba en “imágenes acústicas”.

Por su parte, Einstein afirmaba sobre su Teoría de la Relatividad: “vino a mí por intuición. Y la música fue la fuerza motora presente tras esa intuición. Mis padres me hicieron estudiar violín desde los seis años. Mi nuevo descubrimiento es el resultado de la percepción musical”.

Por su parte, algunos importantes compositores del siglo XX comparten una idea semejante a la de Einstein. Dallapiccola, por ejemplo, afirmaba: “Estoy convencido de que la labor del artista consiste en la búsqueda de la verdad y de que, además, busca con el mismo rigor que un científico, un matemático, por ejemplo”.

Siguiendo este razonamiento, y desde esta perspectiva estética, el compositor del XX se acerca a la creación como el científico lo hace al descubrimiento de una ley natural, y ambos disfrutan de una emoción intensa, de la misma naturaleza, cuando alcanzan su objetivo.

### LA MÚSICA ES CIENCIA

La afirmación de que la Música es Ciencia, con modificaciones y variaciones, es una idea y definición recurrente a lo largo de toda la Historia de la Estética musical occidental, estableciendo los vínculos de la Música con el número (la matemática), la física y la cosmogonía.

Encontramos referencias a la naturaleza matemática de la Música, desde una perspectiva más o menos científica, ontológica o gnoseológica en Pitágoras -que a su vez bebe de los asirios y otras culturas precedentes-, Platón, Aristóteles y Boecio, hasta llegar al astrónomo y físico heliocentrista Johannes Kepler, o a Descartes, Rameau, Krause, Kant o Hanslick.

Alcanzado el siglo XX, esta idea sigue siendo generadora privilegiada de teorías estéticas de diversa orientación. La fe en el progreso, la ciencia y la tecnología presente en una gran parte del siglo pasado, especialmente en la primera mitad del mismo, así como la necesidad de aportar racionalidad y orden al devenir diario y al arte, sentida especialmente por las dos generaciones de postguerra, renuevan en los compositores el interés por el sustrato físico-matemático de la música y les conducen a

métodos compositivos que se alimentan, al menos parcialmente, de ese sustento. Como ocurre en el caso del serialismo integral, la música estocástica, la música espectral o la composición a partir de fractales.

Pero, al mismo tiempo, la inquietud sembrada por el nuevo enfoque de ciertas teorías científicas que hacían dudar al ser humano de su percepción de la realidad a través de los sentidos, rompen con la visión determinista del mundo presente hasta entonces. Avances en este sentido, como la Teoría de la Incertidumbre de Heisenberg o la Teoría de la Relatividad de Einstein, se proyectan en el pensamiento musical y en otras expresiones como la música “indeterminada” de Cage, o su desarrollo posterior en la “música aleatoria”, y en tratamientos experimentales y teóricos del tiempo y el espacio en la obra musical en numerosos creadores a partir la segunda mitad del siglo XX.

Veamos algunos ejemplos concretos, que sólo describiremos brevemente para aportar una visión de conjunto.

## **El Número como inspirador y “fetiché” en la Composición Musical del siglo XX**

### *La Serie de Fibonacci*

El número se transforma en un elemento generador de sistemas de composición musical durante el siglo XX. Un ejemplo clásico es el empleo de la *Serie de Fibonacci* como elemento estructural de las obras musicales. Muchos compositores del siglo XX han empleado la serie de Fibonacci de formas muy variadas, probablemente motivados por la búsqueda de objetividad, tan presente en la música contemporánea, ya que el atractivo de esta serie numérica reside en su apariencia universal y en sus curiosas e intrigantes propiedades matemáticas y físicas.

Esta serie numérica ( $F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$  ( $n \geq 0$ ) - 0 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 ... ) tiene numerosas y elegantes propiedades matemáticas y físicas. En primer lugar, está íntimamente relacionada con la proporción áurea y muestra unas propiedades de simetría muy interesantes. Por ello ha sido muy atractiva para arquitectos, artistas plásticos y, por supuesto, músicos. Pero también describe fenómenos naturales y físicos (como la estructura de las partículas atómicas y subatómicas, las relaciones de distancia entre Júpiter, Saturno, Urano y sus respectivas lunas, etc.).

La música tonal se basaba, generalmente, en series geométricas (1, 2, 4, 8, 16 ...) o aritméticas simples (1, 2, 3, 4 ...), que prevalecen en la estructuración y proporcionalidad de ritmo y la altura hasta el siglo XIX. Pero la libertad alcanzada en el siglo XX en el tratamiento del material musical ha permitido a los compositores utilizar otras organizaciones sonoras que responden a nuevas proporcionalidades, entre ellas, privilegiadamente, la serie de Fibonacci.

Aunque hay muchos ejemplos, los dos compositores que más habitualmente utilizan esta serie son: Béla Bartók y Stockhausen.

El musicólogo Ernest Lendvai ha establecido numerosos ejemplos en la obra de Bartók en que utiliza esta serie a nivel rítmico, formal y melódico (por ejemplo, podemos encontrarla en el “Allegro Bárbaro” para piano o en el primer movimiento de su “Música para cuerdas, percusión y celesta”).

En el caso de Stockhausen la serie se utiliza para establecer secuencias de duraciones sonoras. Es el caso de sus dos primeras obras, en las cuales los números de Fibonacci se usan prominente y sistemáticamente, contribuyendo por ello, más significativamente a la estructura formal global que en el caso de Bartók. Por ejemplo, en "Klavierstück IX" la mayor parte de los compases tienen indicaciones métricas relacionadas con la serie de Fibonacci.

## *Los Fractales y otros sistemas de composición*

Entre las últimas técnicas desarrolladas a partir de modelos o geometrías matemáticas está la composición con *Fractales*, que se emplean también como herramienta para el análisis musical.

Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. En la naturaleza aparece la geometría fractal en las nubes, el sistema circulatorio, los copos de nieve, etc. y, al igual que ocurría con la Serie de Fibonacci, los compositores se han sentido atraídos por sus propiedades.

Robert S. Johnson desarrolló en los años noventa, a nivel experimental, un programa informático para generar estructuras y parámetros musicales a partir de una fórmula iterativa en dos dimensiones, denominada conjunto de Mandelbrot, que es el más común dentro de los fractales. Este programa informático se traduce en sonido usando el sistema MIDI en un ordenador, sin embargo, no todos los aspectos de la composición siguiendo este programa están predeterminados por la fórmula, el compositor tiene libertad para elegir los timbres, el orden y combinación de las secuencias melódicas así como la extensión de la pieza. Johnson compuso con este sistema la obra *Fractal en La bemol mayor* y las variaciones tituladas *Diálogo fractal*.

Asimismo, el español Francisco Guerrero fue uno de los compositores que explotó con mayor eficacia la fractalidad como método creativo, auxiliado por ingenieros informáticos en el departamento de Música Informática de la Universidad Politécnica de Las Palmas -que él mismo fundó-, desarrolló, a partir de mediados de los ochenta, un método compositivo que describe Yvan Nommick: “[Guerrero] manejaba como elemento generador de la forma musical lo que denomina “semilla”, que se reproduce a diferentes escalas mediante reglas de transformación establecidas por el compositor, quien consigue de este modo una gran coherencia entre la macroforma y la microforma de la obra, entre las partes y el todo”.

Existen otras técnicas que comparten los principios tratados hasta aquí y que utilizan el número como base para la creación musical, citemos algunos ejemplos: 1) El sistema de los “cuadrados mágicos” de Peter Maxwell Davies -creado en los años setenta y que enraíza en el serialismo integral-; 2) Las relaciones entre el sistema microtonal y la complejísima Teoría geométrica de la dualidad de los planos proyectivos que maneja Carlton Gamer en obras como *Fanovar* (variaciones sobre un plano de Fano); 3) La Teoría de conjuntos que Elliot Carter aplicó con éxito a la composición musical; 4) La música espectral, en que se utiliza el espectro acústico que se desarrolla en el tiempo como base para la creación.

### *Dodecafonismo y Serialismo integral*

Otro caso emblemático y muy conocido del empleo del número como inspirador de un sistema de composición musical durante el siglo XX es el Dodecafonismo y su posterior desarrollo en el Serialismo integral.

El compositor Arnold Schoenberg desarrolló su método de composición dodecafónico como reacción al sistema tonal, considerando éste último agotado y asumiendo que la disonancia es un medio libre y válido de creación. Pero, al mismo tiempo, necesitaba dotar a la atonalidad libre de un conjunto de limitaciones para que la música se inscribiese en un sistema de referencia con unidad y “comprensibilidad”. El rigor y la lógica matemática del sistema dodecafónico sustituyó, de algún modo, a la lógica del sistema tonal. Schoenberg y su escuela, a partir de los años veinte del siglo XX, establecen un modelo en que cada obra musical parte de una serie de los 12 sonidos de la escala cromática, ordenados según los deseos del compositor (muchas veces con un sentido de simetría interna).

Esta ordenación siempre huye de cualquier referencia tonal, de modo que los 12 sonidos tienen la misma relevancia sin que ninguno se pueda repetir hasta que se hayan oído los demás. Esta serie está sometida, a su vez, a todas las posibilidades contrapuntísticas, y puede ser usada en cualquiera de sus versiones (directa, invertida, retrogradada, en inversión retrógrada) y transportada para iniciarse a partir de cualquiera de los doce sonidos, ofreciendo así, 48 posibles combinaciones. Se asigna un número a cada uno de los sonidos siguiendo su orden, que se maneja con lógica matemática en esas 48 combinaciones, que se expresan en forma de matrices de 12 filas por 12 columnas. Así, los números, la combinatoria y, en general, la matemática, proporcionan al compositor un contexto para trabajar.

La deconstrucción de categorías musicales tradicionales, hace que, tras la II Guerra Mundial, un importante número de compositores experimente con sistemas y planes de composición muy estrictos autolimitando su libertad creativa por medio de superestructuras y operaciones matemáticas prediseñadas, que reducen al mínimo las decisiones libres y el contenido subjetivo de la obra musical. Así, el número se convierte en un fetiche generador y sustentador de la composición musical que rige la creación sin importar, muchas veces, el producto sonoro final.

El caso más común de este manejo del número como director de la composición fue la generalización del serialismo integral entre 1945 y 1960. En este sistema la serie no sólo proporciona el material interválico, sino que también se serializan los ritmos, los timbres, las dinámicas y la forma<sup>1</sup>.

El resultado sonoro de este tipo de obras, predeterminadas casi completamente por operaciones matemáticas, resultaba, muchas veces, completamente caótico -y no se diferenciaba de obras compuestas con filosofías opuestas, como las de Cage-. Ese rigor constructivo no parecía reflejarse en un producto sonoro que cumpliera las expectativas de los jóvenes compositores.

El proceso de desencanto de los compositores lleva a una etapa postserial, a partir de los años 60, apareciendo dos posturas alternativas: 1) La antirracionalista, que proclama la necesidad de renunciar a la estricta racionalidad y la necesidad de recurrir a la espontaneidad (es el caso de Cage y de la música aleatoria de Boulez); y, por otra parte, 2) La postura racionalista que considera que es imprescindible profundizar en otras vías de racionalización dado que el serialismo, manejado como hasta entonces, ofrecía resultados aún insuficientes.

### **Nuevas vertientes de la racionalidad científica aplicada a la Música a partir de los años sesenta: Babbitt y Xenakis**

Milton Babbitt es uno de los compositores perteneciente al segundo grupo. Este creador fue uno de los pioneros explorando diferentes sistemas para serializar las duraciones, el timbre y otros parámetros diferentes de la altura, y mantuvo su postura racionalista y “adicta” al número. Babbitt consideró, durante toda su carrera, que el trabajo del compositor serio era equiparable al del científico investigador. Su pensamiento sobre los vínculos entre música y ciencia queda claramente expuesto en su texto “The Composer as a Specialist”, publicado en 1958, en el que reivindica la obligación de la sociedad de tratar y considerar las innovaciones artísticas con el mismo respeto que los avances científicos. Exigiendo que el éxito de una obra musical no se midiese en función del favor del público ni de la “industria del entretenimiento”. Llega a afirmar que someter al juicio del público en un teatro o auditorio una obra musical compuesta según el sistema serial, es igual de absurdo que obligar a un catedrático de Filosofía o Física a leer un ensayo científico de su área de conocimiento en un programa nocturno de entretenimiento de TV y valorarlo según la reacción del público.

---

<sup>1</sup> Son muchos los casos de compositores que emplean este sistema de composición, entre ellos el de Luigi Nono que, por ejemplo, en el segundo tiempo de “Il Canto Sospeso” compuesto según el serialismo integral, ordena las duraciones siguiendo los números de Fibonacci. Otro caso significativo y muy emblemático de este sistema es la obra *Structures* para dos pianos, de Pierre Boulez, compuesta en 1952, que él mismo explica en su libro *Puntos de referencia*, mostrando las matrices matemáticas correspondientes a sus series de alturas, así como las series rítmicas, timbricas, agógicas, etc.

Babbitt considera el proceso de composición y el aspecto intelectual y científico de la Música como el objetivo esencial de la creación musical, al margen del producto sonoro; así pues, la Música debería valorarse, según su planteamiento, sólo a través de la partitura, igual que una teoría matemática a través de la fórmula.

Otros compositores más jóvenes, como Iannis Xenakis, a pesar de utilizar medios diferentes para alcanzar sus objetivos musicales, comparten con Babbitt una formación científica y musical, y mantienen la postura racionalista, considerando que los métodos de composición basados en el número y en teorías y procesos científicos eran la base de construcción de la música contemporánea. Sin embargo, Xenakis, frente a Babbitt, considera esencial el resultado sonoro y no confía ciegamente en sistemas de composición preconcebidos y basados en elegantes cálculos o teorías científicas. Estas técnicas pueden no dar el resultado deseado a nivel sonoro, por eso, Xenakis contempla sus estrictos cálculos matemáticos previos a la composición, como hipótesis de trabajo, manipulando el resultado a posteriori.

Este compositor afirma: “no se alcanza una visión universal de las cosas a través de la religión, el sentimiento o la tradición, sino a través de las ciencias naturales. Con ayuda del pensamiento científico. (...) El pensamiento científico me pone un instrumento en la mano con el que podré llevar a cabo mis ideas de origen no-científico. Y estas ideas son el producto de determinadas visiones e intuiciones”.

Xenakis se interesó en las teorías de probabilidad matemática como un modo para controlar las masas sonoras y desarrolla sus primeras ideas de un modo mucho más complejo y global, utilizando modelos matemáticos, teorías científicas y ordenadores para ayudarle a realizar los cálculos precompositivos, dando lugar a un método de composición propio que denominó *Música estocástica* (término acuñado por el matemático Bernoulli en el siglo XVII y que se refiere a operaciones con valores estadísticos). Xenakis, utiliza para cada obra de Música estocástica, distintas fórmulas y modelos matemáticos y físicos predeterminados: en *Pithoprakta*, emplea la Teoría cinética de los gases de Maxwell-Boltzmann; en *Achorripsis*, la Ley de Poisson; en *Duel* la Teoría de juegos (en que dos directores de orquesta compiten entre sí), etc. Sobre estos modelos científicos, Xenakis realiza cálculos con un enorme número de datos sonoros iniciales, obteniendo una serie de resultados de entre los cuales selecciona los más convenientes y aprovechables, desde la perspectiva sonora, para estructurar finalmente la obra musical.

## **LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD Y SU IMPACTO SOBRE LA CREACIÓN Y EL PENSAMIENTO MUSICAL DEL SIGLO XX**

No podemos tratar el tema de nuestro artículo sin hacer, al menos, una breve mención a una teoría científica de especial relevancia en el siglo XX y que ha marcado no sólo la creación musical, sino también el pensamiento filosófico y la percepción del mundo, y de la cual es imposible sustraerse: la Teoría de la Relatividad.

Ya en 1922, el peculiar compositor y filósofo francés Dane Rudhyar (1895-1985), cuyas obras musicales están muy influidas por la idea del tiempo circular, publicaba su artículo “The Relativity of our Musical Conceptions” en el que afirmaba: “La Teoría de la Relatividad está barriendo el mundo intelectual de hoy día. Durante siglos, nuestros pensamientos y sentimientos han sido moldeados en base a ciertas estructuras rígidas (...) que se nos aparecen como misteriosos y sagrados ídolos. (...) Sin embargo, en estos axiomas musicales que tiránicamente han gobernado la música europea, no existe lo absoluto ni la certeza, tal y como ocurre en los axiomas de la ciencia física [clásica], que se han desvanecido ante las últimas investigaciones, más profundas y osadas”.

Esta idea está muy presente en numerosos compositores contemporáneos que manejan los parámetros tiempo y espacio, teórica y prácticamente, teniendo en cuenta los nuevos paradigmas establecidos por la Teoría de la Relatividad.

Citemos sólo dos ejemplos en relación a esta cuestión. En primer lugar, el compositor Josep Soler, perteneciente a la generación del 51, premio Nacional de Música 2010 y reciente premio Tomás Luis de Vitoria, es uno de los compositores españoles contemporáneos más interesantes, tanto por su obra musical, especialmente la perteneciente al género operístico, como por sus numerosos escritos estéticos, en los que siempre aparece la influencia de científicos como Einstein, Hawkings y Penrose, sumada a las de filósofos como Spinoza y Platón.

Basándose en la Teoría de la Relatividad, Soler concluye que, “toda obra musical es la expresión de una función del tiempo” y “la circularidad del tiempo (...) es una función que la música posee por su misma esencia”. Así, en la música están contenidas las tres dimensiones temporales (presente, pasado y futuro) y, además, la música manifiesta otra de las propiedades que las nuevas teorías físicas han otorgado al parámetro temporal: “[la música] está curvada sobre sí misma ya que su esencia es expresarse, repetirse en múltiples e ilimitadas -quizá incontables- repeticiones de su interpretación”.

Para Soler, la música, considerada como una forma de ordenar el flujo del tiempo, que contradice la causalidad y el determinismo, presenta la peculiaridad, con respecto a otras artes, de aplicar “operaciones particularmente únicas” al parámetro tiempo. Por eso puede deformarlo, retorcerlo, invertirlo, retrogradarlo o simultanear dos o más “tiempos” diferentes. Esta peculiaridad, presente a lo largo de toda la historia de la música, permitió a los compositores manejar, intuitivamente, el tiempo y el espacio en la dirección de los actuales conceptos físicos de la relatividad, mucho antes de que éstos se descubriesen.

Por ello, Soler elige el método compositivo serial, y trata las series de un modo circular, como puede observarse en obras como su ópera *Edipo y Yocasta*, y también proyecta estas ideas en su trabajo de la forma musical, que considera un “contorno espacial y temporal”.

Otro ejemplo es el de Bernd Alois Zimmermann, compositor que reflexiona repetidamente sobre el elemento temporal en la obra musical, aspecto que marca, de manera definitiva, su pensamiento estético y su estilo compositivo, ya que desarrolla un método completamente personal de composición, que tiene como idea directriz lo que él denomina “tiempo plural”.

Zimmermann afirma: “la idea de unidad de tiempos (...) ha abierto una nueva perspectiva en la música como “arte del tiempo”, (...) en el sentido del presente permanente de la estructura musical que lo engloba todo”. Para Zimmermann, la percepción musical permite la simultaneidad de los tres estados temporales, que denomina, “presente permanente”, confirmado la existencia de una conciencia interna del tiempo en el ser humano, coherente con la Teoría de la Relatividad. Así, en su técnica compositiva, considera el flujo del tiempo como un conjunto de puntos tritemporales, que Dalhaus describe como “esferas temporales”.

Para plasmar esta simultaneidad de presente, pasado y futuro, y manejar el espacio según los nuevos conceptos físicos, parte del serialismo integral y lo combina con la cita, el collage, el montaje escénico, etc. Con la cita y el collage, Zimmermann escapa de la estrechez del serialismo dogmático y alcanza lo que denomina “sonido plural”, que persigue la simultaneidad de materiales sonoros de lo más diverso, generando, especialmente en la ópera, “una forma panacústica de la escena musical (...) que fundiría en un torbellino plural del tiempo (...) todos los elementos del lenguaje, del canto, de la música, de las artes plásticas, del cine, del ballet, de la pantomima, de los montajes sonoros de cintas magnéticas...”.

Zimmermann y Soler son dos casos de compositores muy marcados por las teorías científicas del momento, como la de la Relatividad. Estas teorías aportan una nueva visión conceptual y percepción sensorial del tiempo y el espacio, y ambos compositores lo plasman en su pensamiento estético y en su creación musical.

## **MÚSICA, TECNOLOGÍA Y APROXIMACIONES SONORAS A LA CIENCIA APLICADA**

La Tecnología y la Música también se han retroalimentado a lo largo del siglo XX. Desde el punto de vista de la composición, las posibilidades de la tecnología aplicada a la música electrónica y la generada por ordenador, han estado íntimamente vinculadas a la aproximación de los compositores al sonido y a la sonoridad desde un punto de vista puramente físico y acústico. Esta tarea sumó a compositores, científicos e investigadores, y la música adquirió, durante las décadas de los cincuenta, sesenta y setenta, el papel de motor para el desarrollo tecnológico. Por ejemplo, en el Estudio de Música electrónica de Munich, dotado por la empresa Siemens, cuando un compositor (Kagel, Pousseur o Riedl, fundamentalmente) presentaba una nueva idea o propuesta, el equipo técnico, formado por ingenieros y físicos especializados de la propia empresa, investigaba como ponerla en práctica e incluso, en ocasiones, diseñaba un nuevo aparato para alcanzar los objetivos del compositor.

Pero la tecnología y el sonido no sólo se han unido en un estrecho maridaje en lo que se refiere a la creación musical, sino que en los últimos años han surgido aplicaciones tecnológicas de impacto en la vida cotidiana como consecuencia del estudio del sonido. Es el caso del “Proyecto Lázaro”, ideado hace pocos años por el madrileño José Gabino López, y que ha sido desarrollado por ingenieros informáticos de diversas nacionalidades posteriormente. Este proyecto permite, a los invidentes, aprovechar su mayor sensibilidad auditiva para generar un modelo guiado que utiliza una serie de sensores de movimiento, un sistema de localización GPS y un pequeño ordenador para crear una imagen o representación virtual del entorno por el que se mueve la persona ciega. Para ello usa lo que se conoce como *holofonía*, una técnica que sitúa sonidos en entornos tridimensionales.

Por otra parte, el uso de técnicas musicales para analizar datos científicos está empezando a utilizarse desde hace algunos años, especialmente en bioquímica y medicina. Esta transformación de datos científicos en sonidos musicales se justifica porque los humanos tenemos más capacidad para captar rápidamente ligeras modificaciones en melodías conocidas o músicas tonales, de la que tenemos para detectar ligeros cambios en modelos numéricos o visuales, como una curva de una prueba médica. Además, en una situación de tensión, como una operación quirúrgica, en que los médicos tienen ocupadas sus manos y su vista, el oído puede guiar y ayudar ante un cambio de parámetro brusco.

Por estas razones, genetistas como Susumo Ohno, han convertido las secuencias de ADN en equivalentes musicales que suenan, por ejemplo, como los nocturnos de Chopin. En este modelo, cuando hay una modificación con respecto al parámetro general o algo escondido que no ha detectado la observación visual, el sonido musical lo muestra claramente.

En la misma línea bioquímicos como Dunn y Clark han transformado secuencias de proteínas en equivalentes musicales que se combinan no sólo linealmente sino que también se superponen. La música les permite hacerlo en forma de polifonías, de modo que cuando varios sonidos simultáneos generan disonancias pueden detectar modificaciones en los datos científicos.

Asimismo, el fisiólogo Hugh Lusted, en colaboración con ingenieros, ha parametrizado los movimientos de los músculos del cuerpo humano y los ha transformado en señales eléctricas, que, a su vez, ha convertido en sonidos musicales con un instrumento electrónico que ha bautizado como *biomusa*, y asegura que, en el futuro, este sistema podría colaborar a detectar disfunciones y enfermedades psiquiátricas.



Por último, vale la pena citar la tecnología desarrollada por Reck y Brouse para crear música a partir de las ondas cerebrales, un campo de investigación denominado Brain-Computer Music Interfacing (BCMI).

## CONCLUSIONES

No podemos extendernos en analizar muchas otras tendencias marcadas claramente por la interrelación entre el mundo de la Música y el de la Ciencia y la Tecnología. Hasta aquí hemos pretendido ofrecer una visión panorámica de algunas de sus posibilidades en el ámbito de la creación y el pensamiento musical, así como de sus aplicaciones tecnológicas que merecerían más atención desde el punto de vista multidisciplinar. En la actualidad disponemos de la maravillosa oportunidad de trabajar sobre estos aspectos gracias al proyecto de investigación “Música, Ciencia y Pensamiento españoles e iberoamericanos en el siglo XX”, con referencia CCG10-UAM/HUM-5863, cuyas entidades financiadoras son la DGUI de la Comunidad de Madrid y la UAM, que dirijo y en el que participan 11 investigadores, filósofos, físicos, biólogos, ingenieros y musicólogos de varias universidades (UAM, UCM, UPCO) y, en este año, publicaremos una monografía fruto de nuestro trabajo que aborde todos los aspectos que quedan en el tintero en esta primera aproximación.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADORNO, T.W. (2009): *Filosofía de la Nueva Música*. Madrid: Akal.
- BOETTCHER, W.S.; HAHN S.; SHAW, G.L. (1994): «Mathematics and Music: A Search for Insight into Higher Brain Function» en *Leonardo Music Journal*, Vol. 4, pp. 53-58.
- BOULEZ, P. (2001): *Puntos de referencia*. Barcelona: Gedisa.
- BUSONI, F. (2009): *Esbozo de una nueva estética de la música*. Sevilla: DobleJ.
- BUŽAROVSKI, D. (1986): «Generative Ideas in the Aesthetics of Music», en *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, Vol. 17, nº 2, pp. 163-184.
- DELAERE, M; DALY, P.H. (1990): «Mutations in Systems in the Natural Sciences and Music in the First Half of the Twentieth Century», en *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, Vol. 21, nº 1, pp. 3-28.
- DESCHÈNES, B. (1991): «Music and the New Scientific Theories» en *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, Vol. 22, nº 2, pp. 193-202.
- DIBELIUS, U. (2004): *La Música Contemporánea a partir de 1945*. Madrid: Akal.
- EVANS, B. (1992): «Number as Form and Content: A Composer's Path of Inquiry» en *Leonardo*, Vol. 25, nº 3/4, Visual Mathematics: Special Double Issue, pp. 303-311.
- FAUVEL, J.; FLOOD R.; WILSON, R. (eds.) (2006): *Music and Mathematics. From Pythagoras to Fractals*, Oxford: Oxford University Press.
- KRAMER, J. (1973): «The Fibonacci Series in Twentieth-Century Music», en *Journal of Music Theory*, Vol. 17, nº 1, pp. 110-148.
- KOTSKA, S. (1999): *Materials and Techniques of Twentieth-Century Music*. New Jersey: Prentice Hall.
- LESTER, J. (1989): *Analytic approaches to twentieth century music*. New York: Norton.
- MORGAN, R.P. (1999): *La Música del siglo XX*. Madrid: Akal.
- NOMMICK, Y. (2004): «Recordando a Francisco Guerrero. Fractalidad en el universo musical» en *La Opinión de Granada*, 3 de julio de 2004, p. 34.
- RECK, E.; BROUSE, A. (2005): «Interfacing the Brain Directly with Musical Systems: On Developing Systems for Making Music with Brain Signals» en *Leonardo*, Vol. 38, nº 4, pp. 331-336.
- ROOT-BERNSTEIN, R.S. (2001): «Music, Creativity and Scientific Thinking» en *Leonardo*, Vol. 34, nº 1, pp. 63-68.
- RUDHYAR, D. (1922): «The Relativity of Our Musical Conceptions» en *The Musical Quarterly*, Vol. 8, nº 1, pp. 108-118.

- SÁNCHEZ DE ANDRÉS, L. (2005): «El concepto del tiempo en el pensamiento de Josep Soler y Bernd Alois Zimmermann. Estudio comparativo de las óperas *Edipo y Yocasta* y *Die Soldaten*» en *Cuadernos de música, artes visuales y artes escénicas*, Vol.1, nº 2, pp. 201-239.
- (2010): «Música, Cosmología y Ética en el pensamiento de Josep Soler» en *Josep Soler i Sardà, compondre i viure*. Vilafranca del Penedés: Aldana, pp. 51-83.
- SCHWARTZ, E.; GODFREY, D. (1993): *Music since 1945. Issues, Materials, and Literature*. Washington: Wadsworth.
- SCHOENBERG, A. (1975): *Style and Idea*. Los Ángeles: University of California Press.
- STRAVINSKI, I. (2006): *Poética musical*. Barcelona: Acantilado.
- TANG, P.C.L. (1984): «On the Similarities between Scientific Discovery and Musical Creativity: A Philosophical Analysis» en *Leonardo*, Vol. 17, nº 4, pp. 261-268
- XENAKIS, I. (1966): «The Origins of Stochastic Music», en *Tempo*, New Series, nº 78, pp. 9-12.
- WEBERN, A. (2009): *El camino hacia la Nueva Música*. Barcelona: Nortésur.