

Tecnologías digitales, inteligencia artificial, y biotecnologías en la composición musical

Digital technologies, artificial intelligence, and biotechnologies in musical composition

Cuauhtzin Alejandro Rosales Peña Alfaro
Universidad Autónoma de Querétaro, México
cuauhtzin.alejandro.rosales@uaq.mx
ORCID: 0000-0003-1413-8433



Licencia [Creative Commons Attribution 4.0](#)

International License (CC BY 4.0)

Autor de correspondencia*

Sección: Artículo de investigación

Fecha de recepción: 02/05/2023 | Fecha de aceptación: 06/09/2023

Referencia del artículo en estilo APA 7ª. edición:

Rosales Peña Alfaro, C. A. (2023). Tecnologías digitales, inteligencia artificial, y biotecnologías en la composición musical. *Transdigital*, 4(8), 1–12. <https://doi.org/10.56162/transdigital212>

Resumen

Las tecnologías han sido una constante en el desarrollo de la composición musical y el arte contemporáneo, por lo que resulta obvio que los nuevos avances digitales se incorporen en la producción artística y musical. Desde cómputos convencionales, algoritmos más complejos que decantan en la inteligencia artificial hasta el uso de biotecnologías y cómputos no convencionales, los compositores y artistas se han servido de distintas herramientas para crear obras acorde con los tiempos e innovaciones en que vivimos. En este trabajo se parte del estudio de cómo las tecnologías computacionales (convencionales y no convencionales), la inteligencia artificial (AI) y las biológicas se incorporado en el ámbito de la composición musical a partir del uso de algoritmos probabilísticos, lenguaje autogenerativo y modelos de aprendizaje, así como la inserción de tecnologías biológicas y organismos vivos para producir música u otras formas artísticas híbridas. El uso de muchos de estos soportes artístico-tecnológico-musicales es, de hecho, territorio que los músicos siguen explorando, por lo que se pretende abonar a la investigación en este tema. El principal objetivo es abrir la discusión sobre cómo la música hace suyas tecnologías aparentemente ajenas a ella, como herramientas que coadyuven a la producción artística haciéndolas parte de su poética y discurso. Además, la manera en que se reflexiona sobre la vida, la naturaleza e, incluso, el medio ambiente, a partir del arte y la música como propuestas innovadoras y creativas.

Palabras clave: música; arte contemporáneo; inteligencia artificial; algoritmos; biotecnologías

Abstract

Technologies have been a constant in the development of musical composition and contemporary art, so it is obvious that new digital advances are incorporated into artistic and musical production. From conventional computations, more complex algorithms that favor artificial intelligence, to the use of biotechnologies and unconventional computations, composers and artists have used different tools to create works in keeping with the times and innovations in which we live. This essay has as starting point the study in which computational technologies (conventional and unconventional), artificial intelligence (AI) and biological technologies are incorporated into the field of musical composition from the use of probabilistic algorithms, autogenerative language and models of learning, as well as the insertion of biological technologies and living organisms to produce music or other hybrid art forms. The use of many of these artistic-technological-musical supports is, in fact, territory that musicians continue to explore, which is why it is intended to support research on this topic. The main aim is to open the discussion on how music makes technologies apparently foreign to it its own, as tools that contribute to artistic production, making them part of its poetics and discourse. In addition, the way in which life, nature and even the environment are reflected on, based on art and music as innovative and creative proposals.

Keywords: music, contemporary art, artificial intelligence, algorithms, biotechnology

1. Introducción

Las tecnologías actuales han ocupado un espacio cada vez mayor en la exploración de artistas y músicos, quienes las comenzaron a emplear como parte de su propuesta poético-artística ya desde inicios del siglo pasado. Muchas obras de nuestros días no hubieran podido realizarse de no existir tecnologías más poderosas, pero, a la vez, accesibles. Sin embargo, dicha accesibilidad no implicó tampoco que los artistas dejaran de profundizar en el estudio de las distintas disciplinas tecnológicas en las que se trabajan como soportes artísticos y musicales.

Estrictamente hablando, la palabra *arte* viene del griego τέχνη (téchne); de ahí, derivó en el latín *ars*. Si bien es la raíz de *técnica* y, por supuesto, *tecnología* (etimológicamente, *estudio del arte*), esta palabra estaba más enfocada a la idea de habilidad o don. Durante la Edad Media, el *ars* se refería *al bien hacer*, lo que además tenía una función preponderantemente teológica. Se puede ver que, al menos etimológicamente, ya existía una relación entre arte y tecnología. Desde antes de la época de Platón, la música era vista como una ciencia e, incluso, se le identificaba con la filosofía. Los sonidos musicales se definieron a partir de proporciones matemáticas, relaciones numéricas que se ligan con las vibraciones. Si bien, durante la Edad Media, la música tenía una función litúrgica, debía pensarse como algo perfecto, como una *Scientia bene Modulandi* (ciencia del bien medir), como la llamó San Agustín (Fubini, 2005, p. 93). Incluso, Casiodoro la veía como “la ciencia que trata los números en relación con cuanto se descubre en los sonidos” (Fubini, 2005, p. 104).

Hasta el advenimiento de la Modernidad, no había una distinción en cuanto al tipo de conocimiento humano, llamando *ciencia* a cualquiera de ellos, lo que incluía la música, el arte, la matemática, la física, etcétera. Esto cambiaría a partir del siglo XVIII con el surgimiento de la ciencia moderna y las especialidades científicas y artísticas perfectamente diferenciadas. Esto traería como consecuencia que sólo se considerara a la ciencia como única generadora de conocimiento y, al arte, como una forma de salida de lo *más profundo del corazón*. Es decir, como una expresión individualizada del interior del artista, lo cual no es necesariamente cierto. Estas acepciones se han ido modificando, sobre todo, desde el romanticismo hasta nuestros días, donde el arte ha reivindicado su carácter reflexivo y productor de conocimiento. Además, ha traspasado los límites de lo puramente artístico-manual para llegar al ámbito de la transdisciplinariedad, usando a la ciencia y la tecnología como soporte y parte de su discurso poético. Aquí, no debe olvidarse la premisa de Leonardo da Vinci: “La pintura es una cosa mental” (Juanes, 2010, p. 56), a lo que yo ampliaría: *el arte es una cosa mental*. Ello implica que el arte tiene (desde el Renacimiento) un carácter reflexivo e, incluso, contestatario, lo que ha dado lugar a propuestas muy interesantes. En las siguientes líneas se realizará un análisis de la intersección entre distintas tecnologías que algunos músicos han incorporado como soportes artísticos y apoyo en la composición musical, así como la forma en que éstas se insertan en las discusiones artísticas contemporáneas.

2. Desarrollo

La intersección entre el arte y la tecnología puede rastrearse desde el uso de palos como herramientas para producir imágenes (en pinceles) o sonidos y ritmos al percudirlos; en la pulverización de minerales para obtener colores u otros materiales (como aglutinantes), en las primeras manifestaciones pictóricas. De hecho, la palabra instrumento proviene de *organum*, que se puede traducir como herramienta. Es decir, un instrumento musical es una herramienta para producir sonidos musicales. En el devenir del arte, el desarrollo tecnológico ha jugado un papel fundamental. También, hay que pensar en nuestros actuales sistemas de cómputo como herramientas que han mejorado mucho la manera de realizar trabajos, no sólo en la resolución de problemas muy complejos, sino también para producir arte y música como nunca antes nos hubiéramos imaginado.

2.1. Música y tecnologías informáticas y digitales, una aproximación

A partir de lo anterior, es importante considerar que la música no se puede desligar de los desarrollos tecnológicos de su tiempo. Recuérdese el uso de fonógrafos, la cinta magnética o equipos de audio más sofisticados que dieron como resultado propuestas musicales innovadoras y complejas desde las primeras décadas del siglo pasado, así como obras híbridas, donde la parte visual y sonora tiene un peso importante en el discurso artístico. Algunas reflexiones respecto al uso de los productos surgidos de la ciencia moderna dieron lugar a vanguardias artísticas como el futurismo, donde, particularmente Luigi Russolo, desarrolló las primeras formas de esculturas sonoras, llamadas *intonarumori*. Esto dio como resultado el surgimiento del arte sonoro, el cual está muy ligado a propuestas de música experimental desde los años cincuenta y sesenta, además de una subsecuente hibridación con las artes visuales.

La intersección música-tecnología no es, en realidad, algo tan reciente. Los instrumentos musicales fueron modificándose conforme las tecnologías también evolucionaron, pero con los avances en los dispositivos electrónicos era más que obvia su inserción en la composición musical. Precursores de lo anterior fueron Stockausen, Boulez, Cage y Schaeffer, entre otros compositores. Los experimentos con equipos informáticos iniciaron en la década de los cuarenta del siglo pasado, cuando un grupo de investigadores conectaron altavoces a una computadora Mk1 para seguir el progreso de un programa usando sonido (Miranda, Braund & Venkatesh, 2018, p. 28). Sin embargo, resulta fundamental el trabajo del músico e ingeniero Lejaren Hiller, de la Universidad de Illinois. En conjunto con el matemático Leonard Isaacson, compuso la *Suite Illiac* para cuarteto de cuerdas, la cual se considera como pionera en la composición musical utilizando algoritmos computacionales, donde el cuarto movimiento fue generado usando una cadena de Markov probabilística; se trata de procesos estocásticos discretos en los que la probabilidad de que ocurra un evento depende solo del evento inmediatamente anterior. Para Hiller e Isaacson (1959), la música es una forma sensible, gobernada por leyes de organización que permiten una exacta combinación. Además, pensaban que el proceso de composición podía caracterizarse como una serie de elecciones de elementos musicales a partir de una variedad ilimitada de materias primas. Para ello, se empleó el método estadístico Montecarlo (este método consiste en la generación de números aleatorios y es empleado para

la resolución de una gran variedad de problemas matemáticos, ya sean estocásticos o determinísticos) además de la Teoría de la Comunicación, con lo que desarrollaron un algoritmo que genera datos correlacionados con parámetros musicales; también, aplicaron *reglas* de la teoría musical tradicional. El proceso está dividido en tres fases.

- a) Inicialización: en ella se define una tabla de reglas o condiciones que le dicen a la computadora qué combinaciones de datos pueden ser usados a partir de reglas específicas, la imaginación del programador o reglas autogeneradas por el ordenador, entre otras.
- b) Generación: consiste en la obtención de un dato por vez, el cual se pone en relación con distintos parámetros, tales como altura, ritmo o, incluso, expresiones como *pizzicatos* o arco. Estos datos se generan a una velocidad mil veces por segundo.
- c) Verificación: los datos generados se comparan con reglas musicales para validarlos. No se produce un nuevo dato hasta que el anterior haya satisfecho los requerimientos especificados; una vez cumplido, se convierte en parte de la composición final y se aloja en una memoria hasta terminar la pieza por completo. Por último, se tiene como resultado un código alfanumérico que se traduce a una partitura musical en notación tradicional.

Cabe hacer mención que *Illiack* es el nombre de una de las primeras computadoras construidas, la cual estaba instalada en la Universidad de Illinois. Hacia 1969, Hiller colaboró con John Cage en la pieza *HPSCHD* (de la palabra *Harpsichord*). En ella, se programó la computadora para realizar las tiradas de monedas del *I Ching* y generar más de un millón de decisiones al azar para producir una obra de siete tecladistas, cincuenta y dos grabadoras de cinta tocando *melodías* realizadas al azar por ordenador en cincuenta y dos sistemas de afinación diferentes, cincuenta y dos proyectores de cine y sesenta y cuatro proyectores de diapositivas (mostrando escenas de viajes espaciales, algunas de viejas películas de ciencia ficción) (Taruskin, s.f. a).

Iannis Xenakis fue uno de los más importantes precursores del uso de sistemas de cómputo en la composición musical. La manera en la que trabajaba con los sonidos a partir de computadoras, muchas de las veces consistía en apoyarse en ellas para generar las secuencias numéricas probabilísticas que le serían de utilidad para la producción de los sonidos empleados en sus obras. Hewett (2010) comenta que estos cálculos necesitaron de computadoras para mejorar la precisión y el tiempo de procesamiento, por lo que entre 1957 y 1962 realizó investigaciones sobre sonido electrónico y síntesis en el Groupe de Recherches Musicales de París, donde compuso sus primeras piezas electrónicas. Posteriormente, en 1966, fundó el Centre d'Etudes de Mathématique et Automatique Musicales (CMAMu), un centro de investigación en música computacional. Xenakis había trabajado en su *Achorripsis* (Jet de sonido), de 1956-57, con las Leyes de Poisson de Sucesos Raros para la distribución de las notas y las figuras melódicas, entre otros aspectos musicales. Pero estos métodos fueron tan complejos que requirieron de un ordenador para llevar a cabo los procedimientos de forma más sistematizada, lo que derivó en la composición de *ST/48*, para pequeña orquesta y *ST/4*, para cuarteto de cuerdas, así como *Morsima-Amorsima*, para cuarteto mezclado. De hecho, Xenakis comentó que él no componía al piano, sino que usaba herramientas de

las ciencias matemáticas y computacionales (Lovelace, 2010, p. 54). Por ejemplo, en *Polytope de Cluny* de 1972, Xenakis usó tecnologías de cómputo en donde las instrucciones digitales podrían transmitirse a través de una cinta magnética y que se usó para controlar fuentes de luz y láseres.

El desarrollo de la música por computadora es uno de los eventos más importantes de la historia y lo mismo puede decirse de otros desarrollos fundamentales contemporáneos como la inteligencia artificial (los sistemas informáticos contienen algoritmos capaces de imitar ciertas funciones de la inteligencia humana, tales como la percepción, el razonamiento y la capacidad de resolver problemas), además de otras tecnologías, como las biológicas. El nacimiento de la música por computadora se dio en 1957 (Taruskin, s.f. b, pp. 1-6), cuando Max Mathews, quien trabajaba en los laboratorios Bell, produjo sonidos generados por computadora por medio de un transductor. Es decir, un dispositivo que convierte las señales de audio en información digital, la cual se puede guardar y manipular por medio de una computadora para, posteriormente, reconvertirlas en señales de audio. Para muchos, la composición asistida por computadora se había convertido en algo incómodo (como aún lo es en nuestros días para una gran cantidad de músicos puristas). Siguiendo al propio Mathews, los sonidos pueden ser descritos como secuencias de números; los compositores determinaban cuáles eran los que se podían usar para generar los sonidos que les interesaban, luego se introducían a la computadora por medio de tarjetas perforadas IBM. El resultado era la producción de sonidos ilimitados de acuerdo a las instrucciones dadas por el compositor en la programación; después, en vez de escribir una partitura, se programaba la música obtenida en nuevas tarjetas perforadas para guardar los sonidos en cintas magnéticas. De lo anterior, se realizó el LP comercial *Music from Mathematics*. En 1961, Mathews llevó a cabo la primer grabación de una pieza interpretada, e incluso, cantada, por un ordenador, *Daisy Bell*.

Pierre Boulez ya había pasado un tiempo colaborando con Pierre Schaeffer en proyectos de Música Concreta desde la década de 1950, misma que le dejó de interesar por la falta de control sobre los procesos acústicos. Pronto empezó a decantarse por la música electrónica, lo que derivó, en 1977, en la fundación del IRCAM, *Institute de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*. Entre 1981 y 1984, Boulez trabajó con programadores e ingenieros para componer la pieza *Répons*. A través de sofisticados equipos de cómputo, se desarrolló un sistema de procesamiento y síntesis de sonido llamado *4x*, para manipular y controlar el material generado por la computadora. Después, usando técnicas aleatorias y dispositivos de control en tiempo real, se modificaba el sonido mientras se interpretaba la música en vivo. En principio, los sistemas de programación del IRCAM eran tan complejos que los músicos debían tener a algún ingeniero en programación con quien apoyarse. Tal es el caso de la compositora Kaija Saariho, quien en 1992 compuso *NoaNoa* para flauta y equipo electrónico. Para su realización, empleó con su equipo de trabajo, un ordenador del IRCAM con el que se analizó y modeló el timbre instrumental. Además, empleó reverberación y otros efectos espaciales. En esta pieza, se manipulan en tiempo real el timbre, los efectos y otros sonidos previamente grabado por la flautista.

Otra gran figura dentro de la música electrónica fue Karlheinz Stockhausen, quien desde la década de 1950 también estuvo trabajando con procesos de música concreta y fue interesándose por la electrónica de forma radical.

Entre algunas de las piezas compuestas por este músico se encuentran *Hymen* y *Telemusik*, donde exploró con la síntesis de sonido y programas de procesamiento acústico.

Lo cierto es que los costos de las computadoras se han hecho más accesibles, además que se comenzaron a producir *chips* más poderosos para procesamientos de datos digitales de forma rápida y tendiendo más a la portabilidad. Hoy en día, los músicos ven a la computadora como un instrumento más, como lo sería el piano o la guitarra. Y no hablo únicamente del software aplicado a la escritura musical, que se ha ido haciendo cada vez más complejo y se ha generalizado su uso, sino al desarrollo de sistemas de producción de sonidos a partir de algoritmos matemáticos mucho más especializados. Siendo aún más estrictos, los modernos instrumentos musicales contienen microcontroladores para realizar funciones y tareas específicas, tales como generación de ritmos, secuencias o la producción de sonidos de instrumentos tradicionales a partir del uso de *samplings*, es decir, sonidos muestreados previamente y transformados en archivos digitales que son reproducidos como si se tratara del instrumento real. Podría plantearse que la diferencia entre el sintetizador y el *sampler* es que, el primero, trata de imitar los sonidos de los distintos instrumentos a partir del uso de síntesis de señales acústicas por medios matemáticos, mientras que el segundo, utiliza la información de estos archivos digitales para producir música con sonidos reales de instrumentos musicales específicos. Al final del día, estamos ante el uso de sistemas de cómputo muy sofisticados y con una aplicación muy directa. Además, que las actuales tecnologías, tales como *tablets*, *smartphones* o *laptops*, ya no requieren de grandes equipos externos, sino que los desarrollos en materia de *hardware* y *software*, permiten realizar en menos tiempo lo que hace décadas era más complejo, costoso y tardado.

2.2. Algoritmos, inteligencia artificial y cómputos no convencionales

Miranda (2014) establece que, técnicamente, hay dos aproximaciones a los sistemas tecnológicos y digitales que generan música: por un lado, la inteligencia artificial y, por otro, el empleo de algoritmos. En el primero, se requiere de una base de datos que sea alimentada con gran cantidad de conocimientos, la cual guía el proceso generativo: las computadoras aprenden a partir de la programación que contiene reglas, ejemplos y otros materiales relacionados con el contrapunto, la armonía, etcétera. La música que se genera está basada en la información recopilada, como imitación de ciertos tipos de música. La aproximación por medio de algoritmos usa datos de procesamientos matemáticos u otras herramientas no musicales que se *traducen* a lenguaje musical, como los ejemplos que se han discutido en las líneas anteriores. Los algoritmos son pasos secuenciales que se siguen para obtener resultados o procesos específicos.

En estos casos, los algoritmos se alimentan a partir de herramientas probabilísticas, como las que se han descrito. La diferencia que, a juicio de Miranda, tiene ésta con la inteligencia artificial, es que produce música novedosa e inusual, mientras que la AI entrega música similar al estilo del compositor con el que fue programada. Esto conlleva a dos vertientes, una purista y otra utilitaria. En el primer caso, la música generada por computadora tiende a estar más preocupada a la aplicación correcta de las reglas de programación del sistema, más que en los resultados en sí; esto es, lo que la computadora entrega es la composición final. En el caso de la segunda, lo

obtenido es como el material en bruto, que puede emplearse para composiciones posteriores. Así, el compositor modifica el material de acuerdo a sus necesidades, gusto y estilo. En gran medida, la práctica real combinaría ambas aproximaciones.

Para muchos, la *Suite Illiac* podría ser no solo un antecedente de música generada por algoritmos, sino también, precursora de la inteligencia artificial. Esta obra es aún más notable si consideramos el estado de las computadoras y el software de su tiempo. Hiller e Isaacson introdujeron paradigmas en cuestión de la música por computadoras que siguen dominando hasta nuestros días. Aún cuando esta obra puede resultar conservadora a oídos contemporáneos, no puede perderse de vista que se realizó durante la época de la música de vanguardia encabezada por Cage, Boulez o Stockhausen. El avance, en tanto el uso de computadoras para componer música, es incuestionable. Desde la creación de la *Suite Illiac*, a finales de los años cincuenta, se continuó experimentando con algoritmos y procesamientos estadísticos como apoyo a la composición musical. Sin embargo, estudios de semiótica y lenguaje llevaron al análisis de estilos musicales de distintos compositores, lo que permitió el desarrollo de programas de cómputo que pudieran analizar y determinar patrones específicos de diferentes épocas de la historia de la música. El desarrollo de algoritmos fue llevando a sistemas computacionales que utilizan modelos de aprendizaje -algoritmos computacionales capaces de aprender y mejorar su rendimiento- lo cual fue dando como consecuencia, en particular durante los años setenta y ochenta, lenguajes de AI más complejos empleados en la composición musical.

El paso lo dio David Cope en la década de los ochenta del siglo pasado con el desarrollo de la tecnología Experiment on Musical Intelligence (EMI). Cope sentía un bloqueo mental y, en vez de usar el ordenador para generar procesos aleatorios, decidió estudiar el estilo musical a partir de teorías semánticas. Iniciando con un motivo musical, su sistema analizaba y producía nuevo material que imitaba el estilo de determinado compositor. Utilizando List Processor (LISP, un lenguaje de inteligencia artificial) y siguiendo un modelo estricto de composición tonal, desarrolló un sistema de símbolos con el que construyó un diccionario. Primero, a partir del estilo armónico y melódico del compositor Johann Sebastian Bach. Con éste, generó una base de datos específica; luego trabajó en otras bases de datos con información obtenida del análisis de compositores como Bartok, Beethoven, etcétera. Con el desarrollo del protocolo Musical Instrument Digital Interface (MIDI) en 1986, pudo completar partituras de forma más compacta y lógica. Así, la música generada con EMI es una especie de recreación del pensamiento de Mahler, Chopin o Bach, entre muchos otros; si bien con *el estilo de estos compositores*, al final, música nueva. Posteriormente, en 1990, Cope desarrolló otro sistema a partir de EMI, que llamó Emily Howell, un programa que permite comunicación tanto musical como de lenguaje escrito; éste *aprende* a partir de la información proporcionada por el compositor y, con la que tiene previamente contenida en su base de datos, realiza patrones musicales con los que se crean nuevas obras.

De ahí, el desarrollo de los lenguajes de inteligencia artificial se ha ido haciendo más complejo y sofisticado, lo cual ha despertado el interés de varios músicos que han producido obras interesantes, entreteniendo dichos

lenguajes con algoritmos específicos, además del uso de sensores, microcontroladores, robots, etcétera, lo que está abriendo el territorio de la música a terrenos insospechados.

Hacia 1994 se acuñó el término de cómputos no convencionales, los cuales consisten en procesamiento de información derivada o implementada a partir de sistemas físicos, químicos o biológicos. Hay que comprender la diferencia entre los cómputos convencionales y los no convencionales: los primeros, son los que conocemos de nuestra cotidianidad, esto es, la computación clásica o de Turing: se diseña a partir de algoritmos que le dicen a la máquina precisamente qué hacer, un paso por vez, con datos digitales para producir salidas bien definidas; las instrucciones se programan en código, como C o Python. Los cómputos no convencionales pueden abordar aspectos más complejos, aunque apenas se están explorando estas nuevas tecnologías. Entre éstas, se tienen las computadoras de sustrato biológico; este tipo de dispositivos trabajan a partir del comportamiento y las propiedades de materiales orgánicos, tales como mohos mucilaginosos, bacterias, tejidos vivos o reacciones químicas. De los que más se han trabajado en el ámbito de la música están el moho mucilaginoso *Physarum Polycephalum* y ciertas bacterias como *E. Coli*, entre otras. Además, con el apoyo de algoritmos y uso de inteligencias artificiales para producir música nueva.

2.3. Música y biotecnologías

El bioarte es una disciplina artística que surgió a finales del siglo XX y se ha ido consolidando en lo que llevamos del XXI como una propuesta innovadora y crítica. Pone de manifiesto lo vivo, lo potencializa y visibiliza de una forma más *presentacional* que *representacional*. Es decir, se trata de trabajar con elementos vivos, donde cabe señalar que los artistas que hacen uso de lo biológico, tienen en mente que se trata de algo vivo y que debe mantenerse como tal. Aún cuando el bioarte se ha trabajado desde hace ya varios años, la relación con la música ha sido poco explorada y es terreno fértil de investigación y nuevas propuestas. Muchas de ellas, que involucran la música, están soportadas con el uso tanto de algoritmos como de inteligencia artificial de manera combinada (Miranda, 2014).

El bioarte ha estado más relacionado con el arte sonoro, en tanto instalaciones o paisajes, lo cual ha producido obras de arte híbridas, donde el elemento *sonido* tiene una función más bien plástica, no necesariamente musical. Es importante recalcar que el uso de tecnologías electrónicas de audio, en un principio, y su ampliación con equipos computacionales, ha dado lugar a prácticas artísticas más complejas, lo cual conlleva a usos de las tecnologías de formas creativas y únicas. Por ejemplo, en el trabajo de Leslie García, *Pulsu(m) Plantae* (2011-2014) se analizan los mecanismos de comunicación de plantas, mismos que son intangibles para nosotros. A través de *protesis* de sonido que emplean un principio de retroalimentación, se amplifican los patrones generados por plantas ante distintos tipos de estímulos, mismos que son codificados a frecuencias acústicas para el oído humano. Esta pieza pone en tela de juicio las ideas de pasividad de las plantas, cómo son capaces de generar respuestas electroquímicas a manera de comunicación, lo cual se manifiesta a través del uso de sistemas electrónicos que García desarrolló durante al menos tres años. Esta pieza es un ejemplo de obra híbrida, donde lo sonoro se une a

lo visual, haciendo uso de tecnologías y elementos vivos; en este caso, las distintas especies de plantas que trabaja como soportes artísticos.

Los patrones generados por distintos organismos en su comportamiento, crecimiento, o respuesta a estímulos, han sido empleados para producir, a su vez, patrones sonoros análogos a éstos. Tal es el caso de la obra de Interspecifics *Comunicaciones Especulativas* (2018), en la que se trabajó con la bacteria *Paenibacillus*, de la que se observó su crecimiento y morfología. Con ello, se desarrolló una inteligencia artificial que reconoce dichos patrones reiterativos en los cultivos biológicos, de lo cual se obtuvo una gestualidad audiovisual que dio lugar a una composición musical autogenerativa. La pieza fue presentada como un performance, donde la bacteria establece la estética de los instrumentos y, a partir de ello, la inteligencia artificial determina su dirección en términos musicales (García, s.f.). Otra pieza del mismo colectivo, llevada a cabo en 2016 fue *Microrritmos*, en la que se analiza el origen de lenguajes codificados a partir del reconocimiento de patrones de comportamiento de células microbianas que interactúan con el oxígeno de su entorno. A partir de ello, se producen eventos lumínicos con los que, a través de una máquina de aprendizaje asistido, se crea una partitura musical que es ejecutada en tiempo real. Estas piezas plantean una noción anti-anropocéntrica en el acto creativo, donde el resultado final de la música es decisión del *software* de AI. Por otro lado, se puede decir que éstas son obras artísticas procesuales, donde el producto final no es tan importante como el proceso creativo, en el que se involucra la interacción entre el arte, la música y el material orgánico.

Respecto al trabajo con algoritmos y elementos biológicos, puede plantearse el de *Street Bio at EMW* (2016), un colectivo de científicos, programadores, tecnólogos, artistas y curadores relacionados con el Massachusetts Institute of Technology (MIT), que realizaron un proyecto para generar música a partir de cultivo de bacterias obtenidas del cuerpo humano: la parte interna del codo, la boca, el pie, los genitales y el ombligo. Se utilizaron cajas de Petri del tamaño y forma de discos de vinilo LP y EP, las cuales están divididas a manera de pay; en cada sección se colocaron las muestras obtenidas de las distintas zonas del cuerpo. Se capturaron imágenes de su crecimiento para llevar a cabo un procesamiento digital con los que se generaron datos de acuerdo con el ángulo de crecimiento, localización en las cajas de petri, densidad y diámetro en cada uno de los sectores del disco. Con esos datos, se obtuvo un registro digital de sonidos que se procesaron rítmica, armónica y melódicamente. En la página www.bitabeats.org es posible escuchar cada sector por separado o en conjunto.

Otro trabajo importante fue el realizado por Eduardo Reck Miranda, quien compuso *Die Lebensfreude* (2012) basado en el comportamiento del moho mucilaginoso *Physarum Polycephalum*, mismo que ha sido empleado también en computadoras biológicas no convencionales. En este trabajo, se aprovecharon las características eléctricas que se generan del movimiento de este organismo, el cual es capaz de tomar decisiones y aprender en función de los estímulos que se le presentan. Aún cuando el *physarum* es un organismo que tiene muchos núcleos sin cerebro, demuestra inteligencia, lo cual cuestiona lo que creemos saber sobre ésta y pone en tela de juicio el antropocentrismo surgido desde la Modernidad. A partir de los patrones que genera al consumir nutrientes colocados en electrodos dispuestos en forma de flor, se secuenciaron las notas para cada instrumento,

ritmos y otros elementos musicales. La obra fue escrita para un ensamble de piano, violín, violoncelo, flauta, clarinete, así como seis canales de sonido electrónico obtenido del experimento. Además, se proyectó una simulación del moho mientras consumía la flor durante la ejecución en vivo. Cabe señalar que Miranda es uno de los investigadores más activos en el ámbito de la composición musical empleando cómputos no convencionales, algoritmos e inteligencia artificial.

3. Discusión y conclusiones

Es importante resaltar que la tecnología siempre ha estado involucrada en el trabajo creativo de los artistas y músicos. Sobre todo, generar sonidos más allá de los instrumentos musicales tradicionales y explorar las posibilidades sonoras y musicales que se producen con el uso de tecnologías digitales, cómputos no convencionales, inteligencia artificial o biotecnologías, lo cual, abre los territorios artísticos y musicales más allá de los límites concebidos de forma canónica. Si planteamos, como John Cage, que la exploración del sonido es, también, una exploración musical, se abren caminos creativos sumamente interesantes. Es verdad que el advenimiento de las tecnologías en audio de principios del siglo XX modificaría la manera de producir sonidos con fines musicales, generando timbres y texturas que los instrumentos convencionales no pueden producir. Y, por tanto, estas herramientas tecnológicas se han empleado para reflexionar sobre los nuevos medios, así como la manera en que interactuamos con elementos vivos y nuestra posición en la naturaleza. El uso de organismos, tales como bacterias, mohos mucilaginosos, entre otros, pretende visibilizarlos y, al mismo tiempo, poner de manifiesto su existencia a partir de las respuestas (musicales, sonoras, lumínicas) que producen debido a sus comportamientos, propiedades físicas y electroquímicas. También se pone en crisis el antropocentrismo, la idea de lenguaje, de comunicación e, incluso, de inteligencia.

Hace falta mucho por entender de estas tecnologías, tales como los cómputos no convencionales, que si bien, ya están siendo empleadas para asistir la composición musical, aún es necesario explorarlas más para conocer sus potencialidades y aplicaciones a futuro, lo cual, probablemente, hará que sean empleadas junto con ordenadores convencionales. Por otro lado, las inteligencias artificiales, si bien son tecnologías que se han venido trabajando y estudiando desde los años setenta del siglo pasado, su desarrollo ha tenido un crecimiento exponencial, que ya no se mide en años sino en meses. Su avance ya no se ve al mediano sino al corto plazo, por la forma tan vertiginosa en que van haciéndose más poderosas. Aun cuando, como herramientas, pueden resultar muy útiles, no podría plantearse la idea de que tengan la capacidad de crear a partir de una voluntad, pero pueden apoyar a las necesidades estético-musicales de muchos compositores que logren sacar el mejor partido de ellas.

Además, este tipo de propuestas también van rompiendo las fronteras entre las distintas disciplinas artísticas, empleando las ciencias y las tecnologías como soportes artísticos. No debe perderse de vista el papel del arte como forma de conocimiento.

Referencias

- Fubini, E. (2005). *La estética musical desde la Antigüedad hasta el siglo XX*. Alianza Editorial.
- García, L. (s.f.). *Portafolios*. <https://lessnullvoid.cc/content/portfolio/>
- Hewett, I. (2010). A music beyond time. En I. Hewett, C. Lovelace, S. Kanach, M. Xenakis (Ed.) *Iannis Xenakis: Composer, architect, visionary*. (pp. 17-33). The Draw Center.
- Hiller, L., Isaacson L. (1959). *Experimental music. Composition with an electronic computer*. McGraw-Hill.
- Juanes, J. (2010). *Territorios del arte contemporáneo*. Ítaca.
- Lovelace, C. (2010). How do you draw a sound? En I. Hewett, C. Lovelace, S. Kanach, M. Xenakis (Ed.) *Iannis Xenakis: Composer, architect, visionary*. (pp. 35-94). The Draw Center.
- Miranda, E. (2014). Harnessing the intelligence of physarum polycephalum for unconventional computing-aided musical composition. *International Journal of Unconventional Computing*, 10(3), 251–268.
- Miranda, E., Braund, E., Venkatesh S. (2018). Composing with biomemristors: Is biocomputing the new technology of computer music? *Computer Music Journal* 42(3), 28-46. https://doi.org/10.1162/comj_a_00469
- Taruskin, R. (s.f. a). *Chapter 2 Indeterminacy*. Oxford University Press, Music in the Late Twentieth Century. Oxford University Press <https://www.oxfordwesternmusic.com/view/Volume5/actrade-9780195384857-chapter-002.xml>
- Taruskin, R. (s.f. b). *Chapter 10 Millennium's End*. Oxford University Press, Music in the Late Twentieth Century. Oxford University Press. <https://www.oxfordwesternmusic.com/view/Volume5/actrade-9780195384857-chapter-010.xml>