

Laptops, sonidos y datos masivos. Una perspectiva medial y aplicación en las prácticas artísticas sonoras algorítmicas post-digitales

Laptops, sounds and massive data. A media perspective and application to post-digital algorithmic sound art practices

Lecuona Fornes, Sergio 

Universitat Politècnica de València. Laboratorio de Luz
serlefor@bbaa.upv.es

Mañas Carbonell, Moises 

Universitat Politècnica de València. Laboratorio de Luz
moimacar@upv.es

Recibido: 18-01-2021

Aceptado: 08-03-2021



Citar como: Lecuona Fornes, Sergio.; Mañas Carbonell, Moises (2021). Laptops, sonidos y datos masivos. Una perspectiva medial y aplicación en las prácticas artísticas sonoras algorítmicas post-digitalesT. *ANIAY- Revista de Investigación en Artes Visuales*, n. 8, p. 61-78, marzo. 2021. ISSN 2530-9986. doi: <https://doi.org/10.4995/aniav.2021.14964> ¹

PALABRAS CLAVE

Arte sonoro; postdigital; música algorítmica; música computacional; live coding

RESUMEN

Hace casi dos décadas se celebraba el décimo Salón Digital de Nueva York. Tras asistir a esta, Benjamin Weill (2002) escribía de manera cautivadora para la revista Leonardo del MIT el panorama que había detectado. Apuntaba asombrado que en una sola década las tecnologías digitales se habían filtrado completamente en la cultura y cómo el arte digital había proliferado de forma exponencial, como si de un sistema

¹ Con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades / UE-Feder / UPV HAR2017-87535-P



generativo se tratara, extendiéndose a todas las disciplinas artísticas y dejando de manifiesto que la influencia de la tecnología, en todos los ámbitos de la creación y producción artística, no ha hecho más que incrementarse (Cádiz 2012). En concreto este texto aborda de manera sintética y con una perspectiva medial la evolución de las prácticas artísticas sonoras algorítmicas post-digitales proponiendo que el fenómeno eléctrico que Marshall McLuhan apuntaba, no era solo una apariencia, sino que tanto los dispositivos digitales, la forma y modo como los manipulamos, el momento en el que lo hacemos y su capacidad de construir nuevos objetos creativos, en particular sonoros, a partir del uso computacional y algorítmico dejan de manifiesto la importancia del concepto de tiempo, dato, postproducción e interacción directa e indirecta sobre lo sonoro. Este escrito plantea poner en valor y dar perspectiva a esos acontecimientos conceptuales a modo de aportación a la generación de un dibujo de lo sonoro que se transforma en musical y es mediado por lo tecnológico, lo computacional y la incidencia del dato como elemento virtuoso de esta formulación.

KEY WORDS

Sound art; post-digital; algorithmic music; computer music; live coding

ABSTRACT

It's been almost two decades from the 10th Digital Show in New York and the article that Benjamin Weill (2002) wrote about this same one for the Leonardo magazine of the MIT as an attendee. In his article he wrote in a captivating way about the panorama that he detected. He pointed how digital technologies had completely filtered into culture in just a single decade, and how digital art was exponentially expanding, like a generative system, by spreading itself to all artistic disciplines and thus highlighting that the influence of technology, in all areas of artistic creation and production, it's being only increasing since then (Cádiz 2012). Specifically, this text aims to address, in a synthetic way and with a medial perspective, the evolution of post-digital algorithmic sound artistic practices. It proposes that the electrical phenomenon that Marshall McLuhan pointed out was not only an appearance, but instead, that the digital devices, their shape, the way we manipulate them, the moment in which we do it and their ability to build new creative objects –in particular sound, based on computational and algorithmic use– reveal the importance of the concepts of time, data, post-production and direct and indirect interaction applied to the sound realm. This writing proposes to value and put in perspective these conceptual events, and in this way, contribute to generate a picture of the sound that becomes musical and is mediated by the technological, the computational and the incidence of data as a virtuous element of its formulation.

INTRODUCCIÓN

Hace casi dos décadas se celebraba el décimo Salón Digital de Nueva York. Tras asistir a esta, Benjamin Weill² (2002) analizaba para la revista *Leonardo* del MIT la proliferación del arte digital. En este artículo observaba cómo en una década las tecnologías digitales habían permeado completamente en la cultura, produciéndose ya en masa y siendo cada vez más accesibles para un consumidor no especializado, como pudiera ser la comunidad de artistas del momento. Una década después de esta publicación, Rodrigo F. Cádiz rescata el artículo de B. Weill (2002) en el que asegura que, desde entonces, la influencia de la tecnología en todos los ámbitos de la creación y producción artística no ha hecho más que incrementarse (Cádiz 2012, 450), podríamos decir paralela a la Ley de Moore³. En esa década se democratizan nuevos dispositivos rápidos de almacenamiento (*flash memory*) cada vez más pequeños y con mayor capacidad, que nos hacen repensar la forma de transportar los datos entre dispositivos y, cómo no, también el concepto de autonomía como usuarios. Estos nuevos dispositivos ya no confunden el contenido con el continente como pasaba con el CD-R o DVD en los noventa, sino que estos son simples espacios de transporte, micro almacenes para la creatividad y la transacción de conocimiento fuera de la creciente red internet. Por otra parte, esta transición a formatos digitales sobre minúsculos dispositivos, supone una homogeneización de los medios a nivel tecnológico y provoca la estandarización de un modo de manipular y gestionar los datos.

Al igual que Marshall McLuhan señalaba, al analizar el fenómeno eléctrico, que “el establecimiento una red global era un aspecto principal de la era eléctrica”⁴ (McLuhan 1964, 295), podríamos apuntar que pasa lo mismo con “la era digital”. En el medio digital, el audio, el texto y la imagen pasan a componerse de una sucesión discreta de ceros y unos. Todo se transforma a lenguaje de computación, pasa a ser computable, es transcodificable gracias a este nexo común entre medios (multimedia digital). Esta posibilidad devino paulatina e incrementalmente en un interés de los artistas por el campo de la ciencia de datos, desde perspectivas relacionadas con aspectos sinestésicos como la sonorización⁵ o la visualización. La cada vez mayor cantidad de

² Actual director artístico del Centro Botín, previamente director artístico de *LABoral Centro de Arte y Creación Industrial*, ejercía como director del *Departamento de Media Art en el San Francisco Museum of Modern Art (SFMOMA)* en el momento que realizó la publicación que se referencia en el texto

³ Ley enunciada en 1965 por el cofundador de Intel Gordon Moore por la cual se predice que el número de transistores (componentes electrónicos) contenidos en un mismo chip se doblaría cada año y medio

⁴ “It is a principal aspect of the electric age that it establishes a global network”

⁵ Aunque *sonorización* y sonificación consistan en la transformación de eventos no sonoros en sucesos audibles, los distinguimos en su aspecto utilitario. Atendiendo a la taxonomía que presentó T. Hermann el 2008 en la *International Conference on Auditory Display*, a pesar de que algunas sonificaciones se puedan ver como arte o música, esta no es la intención de una sonificación (Hermann, 2008). Desde el momento que esta pierde su capacidad instrumental y no

datos diversos que podían fácilmente combinarse, almacenarse y distribuirse, debían ser analizados por nuevos agentes sintéticos de naturaleza matemáticos. Estos elementos algorítmicos, junto a dispositivos físicos especialmente diseñados para manejar eficientemente volúmenes masivos de datos (Kelleher and Tierney 2018), han generado en la última década una sociedad plétora de dispositivos digitales, un efecto colectivo de la aplicación de computación portátil, distribuida y en la nube, un boom de las redes sociales y la explosión del internet de las cosas (IoT), el magma perfecto donde gestar la fundación de una nueva realidad tecnocrónica consanguínea a la revolución de los datos (Kitchin 2014). Paralelamente, es un momento de renovar pioneras reflexiones basadas en la intención de poner fin a la dialéctica entre objeto y proceso, entre autor y espectador⁶ y ahora, también, entre productor y usuario (prosumidor). Se trata de una situación en la que la computadora personal se convierte en una herramienta tecnológica más para la creación artística y los intereses entre el campo de las artes y el de las ciencias de la información van confluyendo en experiencias limítrofes entre diseño y práctica artística, constituyendo un ecosistema creativo práctico y performativo enmarcado en las artes numéricas, computacionales o digitales. Esta relación dato-proceso-creación se expande de manera progresiva a todos los ámbitos culturales como, por ejemplo, el proyecto *Dance Data Project*⁷ en el campo de la danza, o la propuesta de Mr Gee y *Open Data Institute*⁸ en el ámbito de la poesía.

1. MÚSICA COMPUTACIONAL. VANGUARDIAS SONORAS EN UN BIT

La actividad musical, en general, no podía ser una excepción al impacto de los avances tecnológicos, pues su desarrollo está íntimamente ligado a la tecnología de forma casi inevitable. No es el objetivo de este texto, pero no podemos olvidar los estudios relacionados desde Pitágoras hasta la actualidad entre música y ciencia⁹ y en concreto los estudios visuales de armonografía (Ashton, 2001), donde el uso de fórmulas matemáticas e instrumentos científicos matemáticos producen resultados visuales de naturaleza algorítmica desde el estudio anatómico musical de armonías, matices e intervalos. Estas prácticas son experiencias de vanguardia como los rotorelieves de Duchamp o los paisajes imaginarios para 42 fonógrafos de de John Cage, registrados y

busca la extracción de información, sino generar una experiencia puramente estética, no debemos de hablar de sonificación, sino de sonorización o sonificación artística, si adoptamos una posición más laxa

⁶ Ver (Martín-Prada, 2021)

⁷ About the Dance Data Project – Dance Data Project. (s. f.). Recuperado 15 de enero de 2021, de <https://www.dancedataproject.com/about-ddp/>

⁸ Poems by Mr Gee—Data as Culture—ODI - The Open Data Institute. (2019, octubre 14). Recuperado 15 de enero de 2021, de Data as Culture website: <https://culture.theodi.org/gee-poems/>

⁹ James Jenas, (1937) *Science and Music*, Cambridge

codificados en papel milimetrado en los años 50, y nos indican que la relación con la música y ciencia no es nada novedosa. La novedad, lo emergente en estos momentos, en esta última década sea, posiblemente, el modo y uso de la tecnología, en términos de acción e interpretación en un tiempo y lugar mediado, amplificado y común. La presencia y mediación tecnológica es tan fuerte en este campo artístico de la interpretación musical misma que se nos oculta en la música en si misma (Brøvig-Hanssen and Danielsen, 2016). Existe un efecto mimético entre la tecnología y el mensaje, el dispositivo sonoro y la música que podemos remontar a la invención del cilindro de cera¹⁰ hace ya casi siglo y medio, momento desde el cual el conjunto de las prácticas sonoras cada vez está más mediado, se han visto envueltas por la tecnología, en lo que a nivel interno llamamos el mundo del *cacharrerío*. Con el nacimiento de la música electroacústica¹¹ y la música electrónica¹² en la primera mitad del siglo XX, los avances tecnológicos adquieren un mayor impacto sobre las prácticas sonoras al ligarse a la máquina las labores de interpretación, reproducción y preservación sonora producida por los modelos de organización y almacenamiento democratizados. Estas vinculaciones crecen exponencialmente cuando las técnicas y tecnologías de digitalización y las computadoras irrumpen a finales del siglo XX en la industria musical, que, en consecuencia, impulsan la popularización de la música computacional, aquella que toma el computador como la herramienta principal de la actividad musical, preexistente desde la invención de la síntesis digital sonora en 1950 (Ariza 2011).

Para dibujar la curva de la digitalización sonora y hacernos una idea de la velocidad exponencial de este proceso, pensemos que en tan solo dos décadas (1990-2000/2000-2010) se pasó del primer ordenador comercial equipado con sistema de audio aceptable (the NeXT computer) en 1987, a poder procesar en tiempo real cientos de voces en equipos portátiles (Risset 2007, 7). Actualmente, poco más de una década después (2010-2020), podemos encontrar esa misma capacidad de procesamiento o incluso superior en dispositivos móviles lo que indica una democratización del proceso de generación, edición y postproducción en el primer mundo tecnológico. Algunos de los softwares de edición musical más populares distribuyen versiones para dispositivos móviles y tabletas *Android* e *iOS*¹³. Así pues, desde hace ya veinte años que casi toda la música electroacústica se produce de forma digital (Risset 2002, 5) y, actualmente,

¹⁰ Primer método comercial de registro y reproducción sonora utilizados junto con un fonógrafo, inventado en 1877 por Thomas Edison

¹¹ Música generada mediante aparatos electrónicos o mediante una combinación de estos con instrumentos acústicos (Cádiz 2003) y que puede considerarse como género en la historia de la música diferenciado de la música instrumental (Pope 1994)

¹² Música electrónica originalmente refiere aquella que emplea únicamente instrumentos musicales electrónicos y tecnología sonora electrónica para su producción e interpretación. La exclusividad en en uso de tecnología electrónica es la que la diferencia de la música electroacústica

¹³ Roland Zenbeats, BandLab, FL Studio Mobile, N-Track Studio 9.1, G-Stomper Studio, entre otros software comerciales actuales

prácticamente toda se reproduce por un altavoz, por tanto, se almacena y distribuye de forma digital (Risset 2007, 7), produciendo un fenómeno migratorio hacia lo intangible, lo digital en términos técnicos y de naturaleza del propio contenido.

La digitalización de la música nos ha dotado de nuevas herramientas de generación, edición y postproducción sonora, ha ampliado nuestra paleta creativa, mejorado la experiencia de usuario del equipo musical y se ha hecho más accesible (Rowe 2001, 16), también los avances en los campos interdisciplinares de la ciencia de datos han propiciado nuevas prácticas musicales y modificado de nuevo nuestra relación con el sonido en las dos últimas décadas.

La abundancia de dispositivos digitales, la computación portátil, distribuida y en la nube, la explosión de las redes sociales, el internet de las cosas (IoT) y la proliferación de la inteligencia artificial, entre otros fenómenos de la actual era de los datos son factores que han tenido una repercusión directa e inmediata en el desarrollo de la música computacional contemporánea (Roads 2015, 36). Estos avances nos plantean nuevos escenarios que nos obligan a reescribir conceptos como *musicianship*¹⁴, creatividad, compositor, intérprete, productor, audiencia y el propio concepto de virtualidad (Whiteley and Rambarran 2016, 38).

2. LAPTOP MUSIC. UNA EXPERIENCIA PORTABLE Y PERFORMATIVA

A la democratización del sonido que nos prometía la digitalización de las herramientas de producción e interpretación musical (Brøvig-Hanssen and Danielsen 2016, 12), le sucedió una reducción progresiva del tamaño de los ordenadores y su independencia energética. Este escenario de autosuficiencia energética y portabilidad fue propicio para impulsar la *computer music* un paso más y transformarse en esta década en el fenómeno del Laptop Music. Si bien la música computacional ya centralizaba la práctica sonora en un ordenador, esta nueva versión añade a la ecuación un factor de movilidad decisivo para la proliferación de la música electrónica, haciéndola aún más accesible y empoderando a todos los públicos, no sólo a los usuarios formados musicalmente.

Laptop Music, no es más que un desarrollo de la música computacional que, lejos de considerarse un género, hemos de conceptualizar como una característica de la música electrónica contemporánea (Blackwell and Collins 2005, 13). Además de una reducción del tamaño al compactar en un maletín un dispositivo de edición y síntesis de sonido, esta portabilidad en sí misma fusiona dos espacios de la práctica sonora, mezcla la producción con la actuación, lleva el estudio de grabación al escenario y remarca lo performativo y el tiempo real como génesis del desarrollo creativo. Esta evolucionada forma de manipular contenidos sonoros repercute sobre todo en la proliferación de las prácticas más cercanas al DJ o las basadas en el *remix* y el uso de *samples*, pequeños fragmentos de audio. Por otra parte, esta versatilidad que implica utilizar el mismo equipo de edición como instrumento para actuar provoca, además, la descentralización del control y del dominio

¹⁴ Maestría musical, nivel más alto de interpretación o virtuosismo

de los profesionales de la industria discográfica y sus estructuras de estudio; nace el estereotipo de productor amateur y el *home-studio* (Brøvig-Hanssen and Danielsen 2016, 12) como entorno de producción y postproducción cualificado.

Este efecto de reducción del tamaño de los equipos y, sin embargo, el aumento paulatino de sus prestaciones técnicas no se detiene en la computadora portátil. Desde hace más de 6 años el mercado actual ofrece una gran variedad de dispositivos móviles y tabletas destinados a ejecutar aplicaciones cada vez más exigentes, principalmente a nivel de computación de gráficos. Estos dispositivos portables, no son nuevos para los artistas sonoros, el propio instrumento musical como dispositivo en sí, en la mayoría de los casos, tiene per se la condición de portabilidad y ergonomía (guitarra, violín, etc.), por lo que vemos naturalizado el computador como instrumento musical. En la última década de este siglo XXI, y sobre todo a partir de la salida al mercado del dispositivo portátil iPad en 2010, los artistas sonoros contemporáneos e interesados en el uso de dispositivos tecnológicos experimentan con estos artefactos digitales, no los utilizan sólo como una interfaz de control a distancia, como podemos ver en muchas de las actuaciones del compositor Ólafur Arnalds desde el 2012¹⁵, sino que se convierten en entornos completos para la producción musical. Este fue el caso de *The Fall* (2010), álbum de *Gorillaz*, grabado enteramente en una tablet durante su gira estadounidense del mismo año¹⁶. Otra dirección en el uso e investigación con estos dispositivos portables apuntaba la aplicación-álbum de la artista Björk, *Biophilia* (2011), la cual además de cumplir una función pedagógica aporta una forma distinta de escucha al poder interpretar un conjunto de instrumentos virtuales utilizados en el disco y diseñados específicamente para poder manipularse intuitivamente desde una *tablet*¹⁷.

3. MÚSICA ALGORÍTMICA: DE LO MICRO A LO MACRO

Para la música, la tecnología electrónica, como hemos apuntado, abrió un nuevo abanico de recursos y posibilidades, y por ello la música electrónica debía abandonar la imitación de las composiciones “clásicas” para buscar su camino e identidad estética propias (Roads 2015, 12) como si de una sesión de free jazz se tratara. De la misma forma, la inclusión de las tecnologías digitales y el uso de la computadora, tras un periodo de emulación de la música instrumental inevitablemente ha acabado potenciando sus singularidades y conformando las prácticas más naturales y propias de su medio.

¹⁵ KEXP. (2012). Ólafur Arnalds—Full Performance (Live on KEXP). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=XnxSLwLffNY>

¹⁶ Gorillaz to release new album free on Christmas Day. (2010, diciembre 10). Recuperado 3 de enero de 2021, de The Guardian website: <http://www.theguardian.com/music/2010/dec/10/gorillaz-new-album-free-christmas>

¹⁷ Bjork develops Biophilia while Damon Albarn shuns Tudor dress for festival. (2011, marzo 18). Recuperado 3 de enero de 2021, de The Guardian website: <http://www.theguardian.com/culture/2011/mar/18/bjork-albarn-manchester-international-festival>

La gran corriente derivada de la música electrónica que lleva al mayor exponente las posibilidades del mundo digital es la música algorítmica, aquella que hace uso de algoritmos para su interpretación. Como apuntan Roger Dean y Alex McLean, la música algorítmica no es una práctica nueva ni exclusiva al uso de computadores, puesto que toda actividad musical implica la exploración de reglas o procedimientos, aplicados, inventados, o rotos. Sin embargo, para llegar a consenso en la música actual, se contempla como algorítmicos aquellos procesos que, de otra forma, no podrían alcanzarse únicamente por medios humanos (Dean and McLean 2018).

Podemos apuntar 1970 como la década donde comienza a fraguarse cierta madurez en la música algorítmica con el texto de Lejaren Hiller (1970), *Music Composed with Computers: An Historical Survey*, en el que se describen numerosos proyectos de generación computacional de estructuras musicales, publicado apenas quince años después de la presentación de las emblemáticas *Push Button Bertha* (1956) y *Illiad Suite for String Quartet* (1956), considerados los primeros dos experimentos extensivos de música algorítmica computacional (Ariza 2011). Esta corriente de la música electrónica supone una nueva concepción de las estructuras temporales estudiadas en música, desafían el concepto de pieza como unidad estanca. Sus estructuras, a excepción de las improvisadas, se presentan abiertas a toda posibilidad, no lineales, pasan a ser un conjunto de reglas, en las que su material sonoro puede verse reorganizada en cada iteración, y por tanto ofrecer una experiencia sonora única en cada ejecución. La pieza musical se expande incluso más allá de los límites humanos, en el tiempo micro y el macro, planteando en un extremo piezas eternas¹⁸ siempre cambiantes, y en otro micro ritmo de una precisión y complejidad imposibles.

Existen, según Dean y McLean (2018, 11), dos ramas principales en la música algorítmica, una utiliza las estructuras como herramienta creativa, mientras que la otra busca la automatización de la composición siguiendo la tradición musical de los autómatas en su búsqueda de un algoritmo inteligente independiente que pudiera considerarse creativo. En esta línea podemos anotar como un referente relevante las prácticas generativas y experimentos de Brian Eno, quien imaginaba el futuro de las canciones como una estructura musical infinita (Eno, 1996 p.346) que materializa en sus aplicaciones musicales *Bloom* (2008), *Scape* (2012) o *Reflection* (2017). Este planteamiento algorítmico es quizás el más resonado actualmente, dado que durante esta última década del siglo XXI se ha visto impulsado por los grandes avances en ciencia de datos, en particular en el procesamiento de datos no estructurados mediante aprendizaje profundo (Kelleher and Tierney, 2018, 47). Estos avances aplicados al sonido y lo musical confluyen en los campos de estudio del *machine listening* y la síntesis neuronal, en relación con el análisis y generación de audio respectivamente.

En una dirección opuesta, el planteamiento de algoritmo como herramienta, encuentra sus antecedentes en los experimentos de azar en música de las vanguardias y el serialismo de Arnold Schönberg (1874-1951). Esta otra vertiente de la música

¹⁸ Collins, N. (2002). *Infinite Length Pieces: A User's Guide*. 4

algorítmica trata los algoritmos como un recurso musical a nivel micro y macro, a nivel motivo y estructural. El algoritmo funciona como ampliación de los recursos de composición, un catalizador que ayuda a canalizar y potencial la creatividad. Esta vertiente se ve reflejada actualmente en mayor grado en la práctica del Live Coding.

4. LIVE CODING. ACTUACIÓN, CÓDIGO Y TIEMPO REAL

La práctica del *computer music*, además de aportar nuevos recursos musicales derivados de la virtualización y la eliminación de los límites humanos de la interpretación musical, plantea un paradigma nuevo. Al posicionar el computador como centro de producción musical e instrumento, su programabilidad se presenta como una característica diferenciadora que resulta en la identidad propia de una práctica singular, el *Live Coding* (Blackwell and Collins 2005, 11).

La práctica del *Live Coding* parte de la concepción del código de programación como instrumento per se y lo considera el mecanismo de interacción más directa con los propios algoritmos (Collins and McLean 2017, 356). Este planteamiento es, por lo tanto, el más natural a la hora de interpretar o improvisar con una computadora a modo de instrumento musical, ya que aprovecha todas sus posibilidades naturales al plantear el manejo directo de algoritmos. Esta práctica de código en vivo rechaza el uso de programas de composición musical y sus interfaces prediseñadas, en favor de una interacción directa con la computadora a través del código de programación. Es una exaltación de un “computer music real”, una experiencia más cercana al potencial real de la máquina (Collins et al. 2003, 322) que vaticina uno de los objetivos tecnológicos significativos de los próximos años como es el trabajo de co-creación de diseños entre ingenieros y máquinas inteligentes para lograr resultados que por separado serían imposibles o nos llevarían mucho más tiempo solucionarlos. Aún datando sus orígenes años antes, se sitúa en los 2000 el comienzo de las actuaciones canónicas de *Live Coding* moderno, utilizando sistemas personalizados como *Slub66* (Collins et al. 2003, 323) o “Yig, the Father of Serpents” (McKinney and Collins 2012, 6) y lenguajes como *TydalCylces* (McLean & Wiggins 2010) o *SuperCollider* (Dean and McLean 2018, 332). Para abordar esta práctica actualmente predomina la escritura directa del código utilizando lenguajes textuales como *Tydal*, *SuperCollider* o *Chuck* (Wang & Cook 2003), sin embargo, también se puede utilizar programación visual como es el caso de *PureData* (Puckette 1997), *Max* (Déchelle 2009), *Mosaic* (Mazza y Martínez de Pisón 2019), o incluso en videojuegos como es el caso del juego colaborativo *Dreams* (2019)¹⁹, donde autores como Bogdan Vera²⁰ realiza una performance en tiempo real con los contenidos del propio videojuego.

¹⁹ Sony Interactive Entertainment Europe. (2019). DreamsTM. Recuperado 13 de enero de 2021, de PlayStation Store website: https://store.playstation.com/es-es/product/EP9000-CUSA04301_00-DREAMS0000000000

²⁰ Boggo. (2019). Algorave with Dreams PS4 (Bogdan Vera @ Algomech 2019). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ihF5WQdtyaM>

Curiosamente, la práctica del *live coding* debe en gran medida su expansión a Internet no sólo por las posibilidades de encontrar contenidos para el aprendizaje autónomo sobre el tema, sino también por la posibilidad de pertenencia a una comunidad global. El *Live Coding* se presenta, por el número de usuarios y por el espacio de difusión, como una práctica underground incluso dentro de la música electrónica. Tradicionalmente ha carecido de espacios fijos de difusión en directo o de un gran público, pero internet y algunas plataformas digitales de emisión audiovisual como *Twitch*, están ayudando a encontrar un espacio natural donde mostrar las creaciones en tiempo real e identificar a los creadores. Su presentación en vivo toma el nombre de *algorave*, eventos audiovisuales caracterizados por utilizar como acompañamiento visual, la propia pantalla de trabajo en directo, de forma que la audiencia puede ver la evolución del código en un ejercicio de diferenciación estética de otros géneros de música electrónica (Collins and McLean 2017, 356).

Compuesto por individuos diseminados por todo el globo y al carecer de redes físicas es un movimiento que se ha visto en gran medida impulsado y reagrupado en comunidades interconectadas a nivel internacional por internet, tal y como hemos apuntado. Primero mediante foros especializados de libre acceso y redes sociales, y más tarde, en el 2004, la creación de la plataforma *Temporary Organisation for the Permanence of Live Algorithm Programming* (TOPLAP) como uno de los espacios fundacionales y fundamentales de este tipo de prácticas de código en vivo. Si bien, estos espacios online e internet en general han ayudado a su difusión, debemos apuntar que la visibilidad del *live coding* no comenzó a ser significativa hasta principios de la segunda década del siglo XXI. Desde ese momento su crecimiento ha sido discreto en términos generalistas de la industria musical, pero en constante crecimiento en festivales y eventos específicos de música electrónica que incluyen algoraves²¹. Podemos entender esta idiosincrasia por la costumbre de esta comunidad de presentar sus actuaciones mediante eventos virtuales y streaming en la red.

La presencia de la comunidad *Live Code* en España era limitada, pero tuvo un espacio institucional de difusión en Medialab-Prado (Madrid) con eventos periódicos organizados por el grupo *Live Code Mad* durante 2018, generando una trama local de usuarios e interesados en el tema desde la capital del país y hacia el exterior a través de la información generada en redes y newsletters de la propia institución. También, desde 2019, Hangar-Barcelona sirve de espacio de encuentro para el nodo catalán o noreste de la comunidad TOPLAP, acogiendo actuaciones, talleres y charlas abiertas a cualquier persona interesada en esta práctica.

²¹ Dommune 2019, in-Sonora 2018 -> Algorave. (s. f.). Recuperado 2 de enero de 2021, de Algorave website: <https://algorave.com/>

5. MACHINE LISTENING Y AUDIO NEURONAL. UN PASO HACIA AL ATOMIZACIÓN SONORA

Estos nuevos modos de crear y convivir con los algoritmos nos permiten aplicar diferentes grados de automatización a los distintos aspectos de la actividad sonora. En gran medida, estos algoritmos se agrupan en el campo de estudio denominado *machine listening*. Este campo, como una parcela del *machine learning* dedicada al trabajo con datos de audio, se ha visto impulsado en la última década por los avances en redes neuronales y aprendizaje profundo.

En las prácticas sonoras, podemos ver la aplicación de este campo de investigación en la automatización de la notación musical. Encontramos unos primeros antecedentes en la detección de melodías en la música en los llamados *autotune*²², herramientas de edición de audio para corregir automáticamente la afinación de una interpretación musical. Estos algoritmos han avanzado hasta la capacidad de generación de polifonías complejas que incluso atienden a los registros²³ de los instrumentos. Este es el caso de *Orchidea* (2020)²⁴ un software, fruto de la colaboración entre *Ircam (Music Representation Team)*, *HEM* and *UC Berkeley*, mediante el cual se puede transcribir a notación musical, una partitura a varias voces del conjunto orquestal que se desee, a partir de un archivo de audio.

Otra aplicación de *machine listening* cercana a la notación la encontramos en la generación de fragmentos musicales en formato de música simbólica²⁵, planteada como herramienta de asistencia creativa. Estos programas son más complejos y abarcan un espectro más amplio. Abarcan desde la reproducción de estilos, la armonización de melodías, o recomendación de variantes melódico-rítmicas. La aplicación de estas herramientas es muy específica, ya que en estos casos, los algoritmos se utilizan para una función específica y muchas veces sólo sirven para un caso concreto. Este comportamiento se debe a que su funcionamiento se basa en el análisis previo de un material sonoro seleccionado, del cual extraer las características que se busca generar, como podría ser un género musical concreto, un estilo de interpretación, o el repertorio de una compositora concreta.

²² Waves Tune Real-Time Plugin | Waves. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de Waves.com website: <https://www.waves.com/plugins/waves-tune-real-time>

²³ El registro de un instrumento musical es el rango óptimo de notas que puede reproducir, la nota más grave y aguda que su diseño permite generar sin comprometer sus características tímbricas

²⁴ Cella, C.-E. (2020). *Orchidea* [Orchidea]. Recuperado 16 de enero de 2021, de <http://www.orchidea.org/>

²⁵ Música simbólica es un concepto que hace referencia a la representación gráfica de la música, al conjunto de grafismos y convenciones recogidas dentro del lenguaje musical que nos permiten anotar la evolución de distintos aspectos musicales, como son el timbre, la intensidad, la altura tonal y el ritmo, que han servido para preservar y reproducir piezas musicales durante siglos

En esta área se han presentado intentos de generación de piezas completas sin un éxito completo “real” dado que no han sido capaces de generar de forma completamente autónoma. Es por eso por lo que estas aplicaciones se destinan a la asistencia de composición y no suponen algoritmos autónomos de generación musical. La mayoría de los experimentos realizados, o son resueltos con la generación de fragmentos sonoros, o los resultados del sistema son seleccionados y posteriormente producidos por una persona como ocurre en el caso del tema *Daddy’s Car* (2016)²⁶ de *Sony CSL (Computer Science Laboratories)* que al escucharla nos recuerda a una composición creada e interpretada por los Beatles cuando ha sido parcialmente generada algorítmicamente para recordarnos a su estilo.

Los anteriores casos generaban notación que posteriormente ha de ser interpretada por un ordenador o intérprete humano. Pero podemos encontrar algoritmos utilizados para sintetizar sonido. Este tipo de síntesis sonora se denomina síntesis neuronal, debido a que utiliza redes neuronales para ajustar los distintos parámetros de síntesis. Los ejemplos más comerciales los encontramos en la generación del habla que podemos encontrar en asistentes virtuales²⁷, cuyo refinamiento se basa en la búsqueda de una modulación y articulación de las palabras más orgánica o natural. Con un enfoque más artístico podemos encontrar la propuesta *Bird Language* (Helena Nikonole 2020), en la que mediante el análisis y síntesis neuronal de cantos de aves plantea el escenario plausible de una interfaz de comunicación inter-especie en forma de traductor ave-humano-ave. Integrada de forma más directa al ámbito sonoro, encontramos el caso de la transferencia de estilos y timbre que demuestran los experimentos de *DadaBots*, que podrían resumirse en su *stream* de Youtube, *lofi classic metal ai radio* (2020)²⁸, o en este caso, desarrollado por los laboratorios de google Magenta²⁹, *Tone Transfer* (2020)³⁰ una aplicación web interactiva que nos ayuda a entender el proceso de la tecnología de análisis y resíntesis de sonido que se esconde detrás de este experimento. Este es capaz de resintetizar un sonido como si su fuente de emisión fuese otra modulando el timbre. En sus demostraciones, el

²⁶ Sony CSL. (2016). Benoît Carré: Daddy’s Car | AI-composed music. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=cTP0Sr_ehmY

²⁷ Deep Learning for Siri’s Voice: On-device Deep Mixture Density Networks for Hybrid Unit Selection Synthesis. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de Apple Machine Learning Research website: <https://machinelearning.apple.com/research/siri-voices>
Alexa, what’s the latest? (2019, enero 16). Recuperado 16 de enero de 2021, de About Amazon website: <https://www.aboutamazon.com/news/devices/alexa-whats-the-latest>

²⁸ DADABOTS. (2020). lofi classic metal ai radio—Riffs for false nostalgia 24/7. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=J1NV6CUJ18>

²⁹ Magenta. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de Magenta website: <https://magenta.tensorflow.org/>

³⁰ Tone Transfer. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de Magenta website: <https://magenta.tensorflow.org/tone-transfer>

algoritmo es capaz de crear a partir de una melodía cantada, la misma melodía interpretada por cualquier otro instrumento, pero manteniendo la expresividad de la interpretación, imitando o buscando las sonoridades más cercanas. Esto nos invita a pensar en una herramienta de esbozado musical rápido que nos permite incluir los elementos expresivos y recursos tímbricos de cualquier instrumento desde los primeros pasos de una composición.

Por otra parte, encontramos un conjunto de algoritmos, ya ampliamente integrados, que podríamos denominarlos de clasificación y emparejamiento. En la actualidad los podemos encontrar integrados en las plataformas de streaming musical, en forma de asistentes de recomendación, listas de reproducción personalizadas y radios de estilos³¹. Estos algoritmos extraen datos del sonido para determinar un conjunto de características. Mediante las diferentes lecturas de estas características el programa realizar distintas clasificaciones, según como su combinación sea estadísticamente más representativa de un estilo u otro, se pueda asignar más o menos a un concepto, o sea similar al del archivo que se está reproduciéndose. Desde el ámbito de la aplicación a la práctica sonora, el uso más directo lo vemos en *AI DJ Project* (2018)³², presentada como la colaboración sobre el escenario de un humano y una máquina. En este caso, la máquina asiste a las tareas de un DJ convencional: detecta y ajusta los tiempos de las canciones para mejorar las transiciones, propone un listado de posibles siguientes canciones, y analiza la actividad del público para recomendar variaciones del tempo.

6. NETWORK MUSIC: LA PROMESA DEL 5G

La popularización y uso extensivo de la red de Internet desde el inicio del siglo XXI, así como la paulatina mejora en las infraestructuras y velocidad de transmisión de datos, plantean nuevos escenarios para las prácticas sonoras contemporáneas, concretamente en lo relativo al concepto espacio-temporal del sonido. La era digital ha enfatizado la liberación del sonido de su coherencia espacio-temporal que lo constreñía (Brøvig-Hanssen and Danielsen 2016, 14). Un proceso que se inicia con el concepto de música concreta introducido por la música electroacústica y las tecnologías de grabación analógica.

En los últimos veinte años hemos experimentado una condensación perceptual del espacio. El desarrollo y accesibilidad de las TICs (Tecnologías de la Información y

³¹ Especialmente para ti. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de Spotify website:

<https://support.spotify.com/ad/article/made-for-you-playlists/>

YouTube Mix—YouTube Help. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de

<https://support.google.com/youtube/answer/9011078?hl=en>

My Mix. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2021, de TIDAL - High Fidelity Music Streaming

website: <https://tidal.com/mymix>

³² AI DJ Project—A dialogue between AI and a human | ART. (s. f.). Recuperado 16 de enero de

2021, de Qosmo—Computational Creativity and Beyond website:

<https://qosmo.ip/en/projects/ai-dj-human-dj-b2b/>

Comunicación), que nos permiten intercambiar datos e información a alta velocidad con cualquier punto del planeta ha expandido nuestro rango de percepción, ha modificado la forma en que entendemos el mundo y nos relacionamos con él.

Este nuevo paradigma perceptivo, inevitablemente, ha modificado de igual manera la cultura y nuestra forma de interactuar con ella. Esto, en términos de las prácticas sonoras, se traduce en cambios en la escucha, en concreto el escenario de la *BigMusic* (Koutsomichalis 2016, 25), y la producción sonora, en cuanto que, por una parte facilita el acceso a recursos a la vez que los descentraliza, y por otra facilita la agrupación, contacto y nuevas prácticas colectivas entre agentes.

Esta realidad tecnológica actual hace cada vez más plausible las ideas del *Network Music*, una práctica derivada de la música computacional que se caracteriza por el uso de una red mediante la que se comunican a larga distancia los distintos agentes que participan en la actuación. Una práctica que, aun no siendo innovadora, ya que recoge el espíritu del *broadcasting art*, el arte telepresencial y las experiencias de telecontacto, asienta los conceptos de conectividad, latencia e interrelación mediada en el ámbito artístico sonoro. Históricamente, se atribuye su inicio en los 80' a la formación *The Hub* (Blackwell and Collins 2005, 4), un conjunto de programadores y compositores que a su vez se consideran antecedente directo del *Live Coding*, por su puesta en escena y el carácter improvisatorio de sus ensayos preparatorios (Collins et al. 2003:322).

Desde aquel primer experimento de *The Hub* hasta la actualidad, la realidad tecnológica ha avanzado notablemente. En su primera actuación en 1987, *The Hub* se dividió en dos emplazamientos que presentaban a su vez dos sub-redes de tres equipos cada una comunicadas entre sí vía modem de línea telefónica (Greshamlancaster 1998, 3). La actuación fue posible ya que apenas se intercambiaban una decena de parámetros entre dispositivos, por lo que la latencia³³ de la red, aunque existente, no era un problema excesivo. Sin embargo, cuando Michel Redolfi organizó *Transatlantic Concert* (1992), un experimento de improvisación a dúo entre dos *Disklavier*³⁴ repartidos y controlados por MIDI³⁵ de forma cruzada desde EE. UU. y Francia, la latencia ascendía a un cuarto de segundo (Risset 2007, 7), lo que generó sin quererlo una nueva forma de escucha, un modelo basado no sólo en el aquí y ahora de la interpretación sino en aquí y ahora mediado y pendiente de la capacidad de flujo de los datos. Un nuevo agente había aparecido en el escenario de la creación sonora, la velocidad y la capacidad de transferencia de datos.

³³ En redes informáticas de datos, el término latencia refiere a la suma de retardos temporales dentro de una red

³⁴ Disklavier es una familia de pianos con un sistema electromecánico que les sirve de interfaz digital para ser controlados por un computador. Pueden pensarse como una pianola electrónica

³⁵ Abreviatura de *Musical Instrument Digital Interface*, hace referencia a un protocolo estándar diseñado para la comunicación de datos musicales entre varios instrumentos musicales electrónicos y computadores

Es importante apuntar que, para una actuación musical grupal precisa, la sincronía entre los diferentes componentes de conjunto es esencial, lo cual implica también a la práctica musical en red. La velocidad de transferencia de la red de *The Hub* rondaba los 10kbps en el caso más favorable. En la actualidad podemos fácilmente contratar una conexión de internet fácilmente de 300Mbps³⁶. Para hacernos una idea, una foto estándar tomada con el móvil (aproximadamente 3Mb) con esta última conexión apenas tarda un segundo, mientras que en el caso de la red usada por *The Hub* tardaría unos cuarenta minutos en descargarse. Es por ello por lo que, al acercarnos a una infraestructura que nos permite un grado cercano a la inmediatez, como el deseado y polémico 5G³⁷, se deban explorar nuevas propuestas de *Network Music*, que nos brinden alternativas a la retransmisión en directo de eventos vía Youtube e Instagram, o plataformas dedicadas como Twitch.

CONCLUSIONES

Este estudio aporta una visión a nivel de perspectiva medial y aplicación en las prácticas artísticas sonoras algorítmicas post-digitales, concretamente las que experimentan y dialogan con los nuevos avances tecnológicos relacionados con los datos masivos y la algoritmia como parte de la estructura creativa. De acuerdo con las palabras de Curtis Roads (2015) “la música electrónica se ve impulsada con avances en ciencia y tecnología, lo que la coloca en una posición favorable para su futuro desarrollo” (2015, 36).

Un aspecto que salta a la vista es que la nomenclatura de estos fenómenos sonoros atiende exclusivamente al medio sobre o qué ejecutan, lo que hace pensar que hasta la fecha estos fenómenos han estado más relacionados con la capa tecnológica desde donde se ejecutaba que desde la capa de lenguaje. Lo que indica, desde nuestro punto de vista, que todavía estas prácticas no han roto totalmente con los lenguajes artísticos anteriores, sino que evolucionan sobre ellos intentando cambiar la estructura desde la sintaxis y no desde la propia semántica de la práctica. Pensamos que estamos en ese momento agríndice donde hay miles de posibilidades de experimentar y de comenzar a construir una entidad propia de la música algorítmica.

Es inevitablemente observar una gran actividad creciente en los últimos años en el área de la música algorítmica interesada en desarrollar algoritmos inteligentes. Dentro del mundo académico hay investigaciones en curso, sobre todo en el terreno del *machine listening* y la síntesis neuronal. Pero es quizás igualmente necesaria una labor que las recopile, las documente, las analice y las critique desde los niveles prácticos o de

³⁶ López, J. C. (2018, enero 19). Fibra óptica a 1 Gbps: Qué nos aporta, cómo lo hace y qué vendrá después. Recuperado 3 de enero de 2021, de Xataka website: <https://www.xataka.com/otros/fibra-optica-a-1-gbps-que-nos-aporta-como-lo-hace-y-que-vendra-despues>

³⁷ 5G es la nueva generación tecnología de conexión inalámbrica móvil cuyo estándar marca poder alcanzar una velocidad máxima de descarga de 20Gbits/s y una latencia de hasta 1 milisegundo

transferencia como argumentaba Wagstaff (2012) en la *International Conference on Machine Learning*. Wagstaff observaba que en esa área raras veces las tecnologías resultantes de la investigación llegaban a aplicarse en casos del mundo real, lo cual se intentaba remediar en el artículo *Machine Learning Research that Matters for Music Creation* (Sturm et al. 2019). Indudablemente una exploración en esa dirección es de gran interés. Sin embargo, el *boostering*³⁸, como apunta Kitchin (2014) con ejemplos desde la ciencia de datos, puede distorsionar nuestra percepción de los eventos y arrastrarnos a ensalzar en exceso los fenómenos que estudiamos (Kitchin 2014, 25). Por este motivo, pero sin reducir el interés en ese eje, con seguridad el intenso foco de atención sobre la inteligencia artificial está oscureciendo otras áreas como el propio *network music*, que más allá de plantear la implementación de alguna tecnología concreta trata de sistemas ubicuos de colaboración sonora y el paradigma espacial que se desprende de este concepto. Sobre todo, analizando que desde hace menos de una década disponemos de las infraestructuras aparentemente suficientes como para que tenga sentido una reformulación de las experiencias del *network music*, se puede pensar que la revolución de los datos puede también ser una época dorada para una práctica fundamentada en la transmisión de datos y que puede aprovechar las coyunturas sanitarias actuales³⁹ como laboratorio para proponer nuevas fórmulas de colaboración a distancia.

FUENTES REFERENCIALES

Ariza, C. (2011). *Two Pioneering Projects from the Early History of Computer-Aided Algorithmic Composition*. MIT Press. Recuperado de <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/68626>

Ashton, A. (2001). *Harmonograph. A visual guide to the mathematics of Music*. Glastonbury, UK: Wooden Books

Brøvig-Hanssen, R., & Danielsen, A. (2016). *Digital signatures: The impact of digitization on popular music sound*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10192.001.0001>

Cádiz, R. F. (2012). Creación musical en la era postdigital. *Aisthesis*, (52), 449-475. <https://doi.org/10.4067/S0718-71812012000200023>

Chojeki, P. (2020, junio 16). Moore's law is dead. Recuperado 28 de diciembre de 2020, de Medium website: <https://towardsdatascience.com/moores-law-is-dead-678119754571>

³⁸ *Boosterism* hace referencia fenómeno que resulta del uso excesivo y no siempre consciente de términos específicos con la finalidad de elevar ficticiamente el interés sobre un discurso. como *big data*, *data mining* u *open data*, recuerda que ciertos términos son adaptados y explotados por los medios de comunicación para aparentar relevancia

³⁹ Pandemia y confinamientos globales provocados por el virus COVID-19

Collins, N., & McLean, A. (2017). *Algorave: Live Performance of Algorithmic Electronic Dance Music*. *Journal of Electronic Dance Music Culture*, 4.

Dean, R. T., & McLean, A. (Eds.). (2018). *The Oxford handbook of algorithmic music*. New York, NY: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190226992.001.0001>

Eno, B. (1996). *A year with swollen appendices*. London: Faber and Faber.

Greshamlancaster, S. (1998). *The Aesthetics and History of the Hub: The Effects of Changing Technology on Network Computer Music*. *Leonardo Music Journal*, 8.
<https://doi.org/10.2307/1513398>

Hermann, T. (2008). *Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Display*. *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*, 8. Paris, France.

Hiller, L. (1970). "Music Composed with Computers: An Historical Survey". En H. B. Lincoln: *The Computer and Music*. Ithaca, New York: Cornell University Press, pp. 42–96. <https://doi.org/10.7591/9781501744167-007>

Kitchin, R. (2014). *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences*. London: SAGE Publications.
<https://doi.org/10.4135/9781473909472>

Koutsomichalis, M. (2016). *From Music to Big Music: Listening in the Age of Big Data*. *Leonardo Music Journal*, 26(26), 24-27. https://doi.org/10.1162/LMJ_a_00962

Landy, L. (2003). *Electroacoustic Music: Analytical Perspectives* (review). *Notes*, 60(1), 162-163. <https://doi.org/10.1353/not.2003.0112>

Lecuona-Fornes, S. (2019). *Arte, sonido, algoritmo y sociedad (ASAS): Sinergías entre las tecnologías, los datos masivos y el arte sonoro contemporáneo*. (Master Thesis). UPV, Valencia.

López, J. C. (2018, enero 19). *Fibra óptica a 1 Gbps: Qué nos aporta, cómo lo hace y qué vendrá después*. Recuperado 3 de enero de 2021, de Xataka website: <https://www.xataka.com/otros/fibra-optica-a-1-gbps-que-nos-aporta-como-lo-hace-y-que-vendra-despues>

Loy, D. G. (2006). *Musimathics: The mathematical foundations of music*. Cambridge, Mass; London: MIT Press.

McLuhan, M. (1964). *Understanding media: The extensions of man* (2013.a ed.). Berkley, California: Gingko Press. Recuperado de <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1222206>

Mercier, L. (2001). *Music, Arts, and Technology. A Critical Approach*. *Computer Music Journal*, 25(4), 91-92. <https://doi.org/10.1162/01489260152815314>

Pope, S. T. (1999). *Web.La.Radia: Social, Economic, and Political Aspects of Music and Digital Media*. *Computer Music Journal*, 23(1), 49-56.
<https://doi.org/10.1162/014892699559643>

- Martín-Prada, J. (s/f) "La nueva interactividad digital". Recuperado el 15 de enero de 2021, de http://reddigital.cnice.mec.es/3/firmas_nuevas/prada/prada_1.html
- Risset, J. C. (2002). Foreword. En T. Licata (Ed.), *Electroacoustic music: Analytical perspectives* (pp. 4-9). Westport, Conn: Greenwood Press.
- Risset, J.-C. (2007). *Fifty Years of Digital Sound for Music*. 6.
- Roads, C. (2015). *Composing Electronic Music: A New Aesthetic*. New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195373233.001.0001>
- Rowe, R. (2001). *Machine musicianship*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Sturm, B. L., Ben-Tal, O., Monaghan, Ú., Collins, N., Herremans, D., Chew, E., ... Pachet, F. (2019). Machine learning research that matters for music creation: A case study. *Journal of New Music Research*, 48(1), 36-55. <https://doi.org/10.1080/09298215.2018.1515233>
- Turchet, L., Fazekas, G., Lagrange, M., Ghadikolaei, H., & Fischione, C. (2020). The Internet of Audio Things: State of the Art, Vision, and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, PP, 1-1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2997047>
- Weil, B. (2002). Art in Digital Times: From Technology to Instrument. *Leonardo*, 35(5), 523-537. <https://doi.org/10.1162/002409402320774349>