

PEQUEÑA HISTORIA DEL AUDIO DIGITAL: UN RECORRIDO POR LAS MÁQUINAS SONORAS DEL SIGLO XX

A SHORT HISTORY OF DIGITAL AUDIO: A JOURNEY THROUGH THE SOUND MACHINES OF THE 20TH CENTURY

LUCAS BAZZARA¹

Resumen

El presente artículo se propone hacer una pequeña historia del audio digital, tomando en consideración un conjunto compuesto de invenciones tecnológicas, investigaciones científicas y apropiaciones culturales. Para ello se dividirá el trabajo en dos apartados: en el primero de ellos se tratarán los comienzos de las tecnologías de grabación y reproducción musical, por lo que habrá que remontarse al último cuarto del siglo XIX, período de nacimiento de las máquinas sonoras analógicas que, aún con sus sucesivas mutaciones tecno-culturales –del fonógrafo al tocadiscos–, dominarán la escena de la industria musical hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX. En segundo término, se abordará la aparición y desarrollo de las máquinas sonoras digitales, para lo cual se focalizará, precisamente, en el proceso de digitalización de las señales analógicas, así como en el contexto de surgimiento de sus hijos predilectos: el disco compacto y el MP3.

Palabras clave

Audio digital; disco compacto; MP3; máquinas sonoras analógicas

Abstract

This article aims to make a short history of digital audio taking into consideration a set of technological inventions, scientific research and cultural appropriations. For this, the work will be divided into two sections: the first one will deal with the beginnings of music recording and reproduction technologies, so it will be necessary to go back to the last quarter of the nineteenth century, the period of birth of analog sound machines that, even with their successive techno-cultural mutations –from the phonograph to the record player–, they will dominate the music industry scene well into the second half of the twentieth century. Second, the emergence and development of digital sound machines will be addressed, for which we will focus precisely on the process of digitizing analog signals, as well as in the context of the emergence of their favorite children: the compact disc and the MP3.

Keywords

Digital audio; compact disc; MP3; analog sound machines

¹ Lucas Bazzara. Licenciado en Ciencias de la Comunicación por la Universidad de Buenos Aires (Argentina), maestrando en Comunicación y Cultura por la misma Institución y becario doctoral en Ciencias Sociales por ANPCyT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica). Correo postal: Argerich 1352, 1222, CABA. Correo electrónico: lucas.bazzara@gmail.com

Pequeña historia del audio digital: un recorrido por las máquinas sonoras del siglo xx

En todas partes máquinas, y no metafóricamente: máquinas de máquinas, con sus acoplamientos, sus conexiones. Una máquina-órgano empalma con una máquina-fuente: una de ellas emite un flujo que la otra corta (...). De este modo, todos «bricoluers»; cada cual sus pequeñas máquinas. Una máquina-órgano para una máquina energía, siempre flujos y cortes (...). Todo forma máquinas. Máquinas celestes, las estrellas o el arco iris, máquinas alpestres, que se acoplan con las de nuestro cuerpo. Ruido ininterrumpido de máquinas (...). Dado un efecto, ¿qué máquina puede producirlo? Dada una máquina, ¿para qué puede servir?
(Gilles Deleuze y Félix Guattari, *El Antiedipo*)

«Cantan, te digo», y se reía. Cómo que cantan, pregunté, contagiado yo también por su risa: ¿los animales cantan? «No, las máquinas. Toda la máquina: es como si la máquina entera cantase». Y yo dije: Toca música, quieres decir; hay un disco que toca música, adentro. Todo era tan absurdo que a los dos se nos sacudía el cuerpo de tanto reírnos y Santiago tenía la vena de la frente como si fuera a estallarle, aunque cuando hablé me miró de un modo extraño, sin dejar de reír, pero con un gesto casi patético y tan poco adecuado a la situación que aún hoy sólo encuentro esa palabra (extraño) para describirlo. Dijo: «Bueno, supongo que sí, que ésa ha de ser la explicación, chango».
(Abelardo Castillo, *Crónica de un iniciado*)

Introducción

El libro de Stephen Witt de 2015, *How music got free* (*Cómo dejamos de pagar por la música. El fin de una industria, el cambio de siglo y el paciente cero de la piratería*), menciona a Spotify por primera vez —y como al pasar— en el Epílogo, y tan

sólo una vez en el Postfacio, pero no por casualidad esta mención aparece exactamente en la última línea del último párrafo de la obra. Witt reproduce allí la parte final de un diálogo mantenido con quien había estado al frente de la comunidad virtual de piratería musical más influyente en los años dorados de la piratería digital, dedicada a filtrar música por internet antes de su publicación oficial en locales de venta y canales de televisión. Ante la pregunta por las posibilidades de emergencia de una nueva oleada de piratería para el tráfico clandestino de música, el ex-pirata, ahora convertido al mundo corporativo como empresario informático exitoso, respondía: “Supongo que todavía se puede hacer. O también puedes hacer como yo: pagar 9 dólares al mes por Spotify, como todo el mundo” (Witt, 2016: 305). Witt deja las cosas en el final de un ciclo, y la mención a Spotify es el signo de ese final, o lo que es lo mismo, el signo del comienzo de un nuevo proceso. Hoy sería posible bosquejar una continuación de la obra de Witt, a todas luces menos apasionante en tanto se trataría del proceso inverso al narrado por él: *cómo volvimos a pagar por la música*. En esta historia, paralela al desarrollo de aquélla, y como su reverso, Spotify jugaría sin dudas un papel central. ¿Pero qué tuvo que pasar en el siglo XX para que Spotify y otras plataformas de *streaming* musical tuvieran lugar en el siglo XXI? ¿Qué máquinas sonoras hicieron entonces su aparición, a la luz de las cuales resulta hoy posible y concebible la música de plataformas? Con el objetivo de responder estas preguntas dividiremos el trabajo en dos apartados: en el primero de ellos nos ocuparemos de los comienzos de las tecnologías de grabación y reproducción musical, por lo que nos remontaremos al último cuarto del siglo XIX, período de nacimiento de las máquinas sonoras analógicas que, aún con sus mutaciones tecno-culturales —del fonógrafo al tocadiscos—, dominarían la escena de la industria musical hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX. En segundo término, abordaremos la aparición y desarrollo de las máquinas sonoras digitales, para lo cual haremos foco, precisamente, en el proceso de digitalización de las señales analógicas, así como en el contexto de surgimiento de sus hijos

predilectos: el disco compacto y el MP3. Como se verá, esta pequeña historia del audio digital no trata sólo de máquinas sonoras, sino también de investigaciones científicas, innovaciones tecnológicas y apropiaciones culturales, entre otros acoplamientos socio-técnicos.

1. Prehistoria del audio digital: las máquinas sonoras analógicas a la luz de los inicios de la electrónica

En su libro sobre el disco compacto, Ken Pohlmann² (1989) relata cómo la invención del primer mecanismo de grabación y reproducción analógica de audio de la historia, el *fonógrafo* de 1877, tuvo lugar, irónicamente, mientras su inventor Thomas Edison experimentaba con un dispositivo para el almacenamiento de datos digitales –un repetidor de código telegráfico. Pero mucho antes de que en el siglo XX la digitalización de las señales sonoras fuera posible tal como hoy la conocemos, el sonido se volvía, en el último cuarto del siglo XIX, analógico: las tecnologías de grabación y reproducción que se sucederían desde entonces habilitaban por primera vez la posibilidad de escuchar voces e instrumentos musicales en un espacio y en un tiempo diferentes al de su ejecución, es decir que el sonido grabado, al ser reproducido, recrearía una copia análoga a las ondas acústicas originales oportunamente registradas³. Eran los albores de la separación del sonido de su fuente. Eran los comienzos de aquellas máquinas que, a partir de fines del siglo XIX, y como sugiere Michel Chion, “vinieron a conmocionar la producción, la naturaleza, la escucha y la difusión de los sonidos, y más especialmente de la música, pero no solamente de ella” (2019: 165).

Más allá de la mención al *fonoautógrafo* francés de mediados de siglo XIX, primera máquina en la

historia capaz de registrar ondas sonoras generando sobre papel una representación visual del sonido, pero incapaz de “leerlo” para recrearlo, la grabación y reproducción analógica de audio avanzó –desde la invención del fonógrafo– por la senda comercial que conduciría primero a la aparición del *grafófono* en 1885: diseñado por Charles Sumner Tainter en el Volta Laboratory de Alexander Graham Bell. Se trataba de una tecnología que mejoraba la técnica de grabación del fonógrafo, reemplazando el papel de estaño para la inscripción sonora por un cilindro de cera; posteriormente, el *gramófono*, patentado por Emile Berliner en 1888, supuso otro reemplazo, el del cilindro de cera por el disco plano giratorio. Jonathan Sterne llama a esta etapa inicial de desarrollo “la primera ola de comercialización de la reproducción del sonido” (2003: 192), período que se extendería desde la década de 1880 hasta 1910 aproximadamente y que incluiría a su vez, al teléfono y a las primeras experimentaciones con la transmisión de ondas radiofónicas, toda vez que, en esos años, los instrumentos recientemente aparecidos no se habían consolidado aún en una trama de relaciones que los acogiera, cristalizando en una forma estable de uso, por lo que todos ellos se encontraban en un proceso de ajuste o calibración respecto del modo de expresión y transmisión del sonido que eventualmente harían propio. Esto quiere decir, según Sterne, que las *tecnologías* no se habían convertido todavía en *medios*: “a medida que las relaciones económicas y culturales en torno a una tecnología se extienden, repiten y mutan, se vuelven reconocibles para los usuarios como un medio. Por lo tanto, un medio es la base social que permite que un conjunto de tecnologías se destaque como algo unificado con funciones claramente definidas” (Sterne, 2003: 182).

Una vez sedimentadas y definidas con claridad las funciones de esas tecnologías, los medios sonoros (telefonía, fonografía, radiofonía) siguieron caminos de desarrollo separados. En el caso de la fonografía, fue el gramófono el que se convirtió, durante buena parte del siglo XX, en el dispositivo de referencia para las innovaciones posteriores en grabación y reproducción sonoro-musical. La máquina de Emile

2 Siempre que en la bibliografía se indique una referencia en inglés, querrá decir que el texto citado cuenta con una traducción propia.

3 El sonido grabado digitalmente también recrea una copia análoga a la señal original al momento de ser reproducido, pero en este caso, para que dicha reproducción pueda ser escuchada, hace falta agregar un elemento más al dispositivo: los conversores de señales, como veremos más adelante.

Berliner, en efecto, alcanzaba un volumen más alto que el de sus competidores (los fonógrafos y los grafófonos), poseía una mayor capacidad de almacenamiento debido a la incorporación del disco plano horizontal y –lo que terminó siendo decisivo– facilitaba la producción en masa de los discos grabados, dado que operaba con un sistema de estampado por medio del cual se fabricaba un disco maestro del que se obtenían las copias que se necesitaran (Sterne, 2003: 203).

Mientras tanto, una serie de investigaciones e invenciones dispersas que por lo general respondían a objetivos distintos en geografías diversas confluirían, junto con el devenir del disco como soporte sonoro y casi un siglo después del gramófono de Berliner, en la posibilidad de emergencia del disco compacto de audio. Entre ellas cabe mencionar la válvula de vacío de dos electrodos o *diodo*, diseñado por el ingeniero eléctrico británico John Ambrose Fleming en 1904, complejizado dos años después por otro ingeniero eléctrico, el estadounidense Lee De Forest, quien llamaría tubo Audión al invento posteriormente conocido como *triodo*, esto es, una válvula electrónica de tres electrodos que serviría para obtener una mejor amplificación de la señal, iniciando, al decir de Pohlmann, “la era moderna de la grabación y la reproducción eléctrica” (1989: 9). En este mismo sentido, Sterne precisa que la válvula de vacío de De Forest “hizo posible el habla y la música por radio, la amplificación eléctrica de las grabaciones de sonido y la telefonía de larga distancia” (2003: 189). En materia fonográfica esto significó que, desde mediados de la tercera década del siglo XX, un micrófono pudiera captar las ondas sonoras convirtiéndolas en impulsos eléctricos, amplificarlas con válvulas de vacío y, de este modo, registrarlas con mayor precisión y definición en la superficie del disco, abandonándose así el método mecánico de grabación analógica. A esto se sumó el abandono progresivo del propio gramófono, que sería sustituido por un nuevo sistema de reproducción, también electrificado, pues utilizaba un motor eléctrico para la rotación del disco: nos referimos al viejo y conocido *tocadiscos*, el gran reproductor de vinilos *Singles*, *EPs* y *LPs* y si de viejos conocidos

se trata, el *cassette* es, cronológicamente, la última gran máquina analógica de grabación y reproducción sonora, introducido para su comercialización durante el primer lustro de la década de 1960 por la compañía de electrónica holandesa Philips, pero consagrado socialmente largos años después, en la década de 1980, en buena medida a raíz de la rápida apropiación del *Walkman* que, comercializado por Sony desde 1979, supuso por primera vez la posibilidad de una escucha móvil e –auriculares mediante– individualizada, abriendo paso a una nueva dimensión de la portabilidad. Así como el disco de vinilo tendría su versión compacta en el CD, el cassette fue el formato compacto de un objeto técnico anterior: el magnetófono de bobina abierta, también conocido como *magnetofón*, tecnología originalmente alemana de la que el “Audio Compact Cassette” –según su nombre primitivo– heredaría su principio de funcionamiento, basado en el registro del sonido sobre la superficie de una cinta magnética arrastrada a una velocidad constante por un motor eléctrico, utilizando un cabezal magnético que transforma las señales eléctricas en señales magnéticas para la grabación, e invirtiéndose el proceso para la reproducción.

Eran, desde aquellas experimentaciones tempranas de Fleming y De Forest a comienzos de siglo, los inicios y primeros despliegues de la electrónica, que tal como recuerda Pablo Rodríguez consistía “en el control del comportamiento de los electrones para lograr una mejor amplificación de la señal transmitida” (2012: 91), y cuyo desarrollo va a constituir un mojón fundamental en la historia –no sólo musical– de la segunda mitad del siglo XX, así como de lo que lleva transcurrido el siglo XXI, pues la evolución técnica en electrónica (del triodo al microprocesador, pasando por el transistor y el circuito integrado), que se manifiesta entre otras cosas en la miniaturización progresiva de los objetos informáticos, está en la base del funcionamiento de todo dispositivo actual de información, de la computadora de escritorio al teléfono móvil y del automóvil al aire acondicionado y los equipos de música. Por otra parte, en 1928 el físico e ingeniero sueco-estadounidense Harry Nyquist iba a

formular el teorema de muestreo (demostrado por Claude Shannon veinte años más tarde), y en 1937 el ingeniero británico Alec Reeves sentaba las bases teóricas para la transmisión de información analógica en forma digital, que como veremos más adelante, significarían un aporte fundamental para el proceso de digitalización de las señales en general y, particularmente, para el desarrollo del audio digital.

Audio digital que sería así el resultado de una serie de invenciones que no tenían por finalidad su posibilidad de surgimiento, incluso cuando con algunas de ellas se investigaba en torno a las propiedades del sonido. Como indica Simondon: “cada invención, en lugar de limitarse a resolver un problema, aporta el beneficio de una superabundancia funcional” (2013: 194), es decir, funciones complementarias que no habían sido buscadas y que se añaden al objeto aportando un “poder amplificante” cuya deriva no es conocible *a priori*. La serie de invenciones mencionadas más arriba constituye de este modo una “causalidad acumulativa” de la que advendrán -superando las funciones específicas de cada una de ellas- tecnologías sonoras digitales como el disco compacto primero y el MP3 después. Por supuesto que, como no podría ser de otro modo, ninguna emergencia, en el sentido genealógico del término, se reduce a una secuencia de invenciones, por más poder amplificante que cada una de ellas aporte; pero es el mismo Simondon el que nos advierte en este sentido:

No solamente las consecuencias sino también las condiciones de la génesis de una invención implican contenidos colectivos y aspectos históricos, con la manera particular en la que el saber y el poder se transmiten bajo forma de objetos constituidos o de procedimientos de producción, y con la exigencia de las condiciones de recepción, que no son solamente económicas sino también culturales (2013: 198).

Por lo demás, un suelo común sostenía y alentaba estas transformaciones tecnológicas: el progreso de las ciencias en un marco de acción capitalista, que, como prácticamente a cualquier otra entidad, trataría

al sonido como un objeto: un objeto de estudio para las ciencias y de mercado para el capital; un objeto, precisa Sterne, “a ser contemplado, reconstruido y manipulado, algo que puede ser fragmentado, industrializado, comprado y vendido” (2003: 9). Por otro lado, un denominador común aglutinaba la variedad de usos, formas y contextos de surgimiento de estos artefactos: se trataba de tecnologías modernas de reproducción de sonido, de las que Sterne nos ofrece una definición simple y abarcativa:

Las tecnologías modernas de reproducción de sonido utilizan dispositivos llamados *transductores*, que convierten el sonido en otra cosa y esa otra cosa nuevamente en sonido. Todas las tecnologías de reproducción de sonido funcionan mediante el uso de transductores. Los teléfonos convierten la voz en electricidad, enviándola por una línea telefónica y volviéndola sonido en el otro extremo. La radio funciona según un principio similar pero utiliza ondas en lugar de cables. El diafragma y el estilete de un fonógrafo cilíndrico cambian el sonido a través de un proceso de inscripción en papel de estaño, cera, u otras superficies. En la reproducción, el estilete y el diafragma vuelven a transducir las inscripciones en sonidos. Todas las tecnologías de reproducción de sonido digital utilizan transductores; simplemente agregan otro nivel de transformación, convirtiendo la corriente eléctrica en una serie de ceros y unos (y viceversa) (Sterne, 2003: 22).

Y si de transducciones se trata, cabe recordar las palabras de Pohlmann en relación al funcionamiento del audio digital: “Un sistema de digitalización de audio no es más que un tipo de transductor que procesa el audio para su almacenamiento digital y luego lo procesa nuevamente para su reproducción” (1989: 38). Los llamados conversores de señales son los que realizan esta tarea: conversores *de-analógico-a-digital* para la grabación (en el caso de que la señal grabada no sea originalmente digital) y *de-digital-a-analógico* para la reproducción (siempre necesarios, dado que nuestros oídos responden sólo

a señales analógicas). Ahora bien, de las “tecnologías de reproducción de sonido digital” que, como señala Sterne, convierten la corriente eléctrica en ceros y unos, nos ocuparemos a continuación.

2. La máquina de discos digital: del cd al mp3

Las sucesivas transformaciones en los procedimientos de grabación y reproducción sonora redundaron en un gran negocio de la música grabada, resultando en la oligopolización progresiva de unas pocas empresas multinacionales que establecían las reglas de juego del sector fonográfico. Si en la década de 1970 las compañías discográficas se contaban por lo menos con los dedos de las dos manos, las fusiones y adquisiciones que fueron teniendo lugar desde entonces llevaron a una mayor concentración que se materializó en lo que se llamó, primero, las “Big Five”, cinco grandes compañías que controlaron el mercado de música grabada entre 1998 y 2004 (Warner Music Group, Universal Music Group, EMI, Sony Music Entertainment y BGM). La fusión entre Sony Music Entertainment y BGM derivó en un mayor nivel de concentración, sintetizado en el nombre de las “Big Four”, entre 2004 y 2011. Finalmente, la absorción de EMI por Universal Music Group nos lleva al momento actual de la industria fonográfica, el de las “Big Three” (Sony, Universal y Warner), que concentran a nivel global cerca del 70% de los ingresos generados por consumo de música grabada⁴.

Sin embargo, los mejores años para la economía del sector fueron los que le sucedieron a la aparición del disco compacto, que allá por 1979 era presentado como la tecnología que revolucionaría a un tiempo el mercado de la música y la experiencia de la escucha musical: de un lado, motorizadas por el CD, las décadas de 1980 y –sobre todo– 1990 supusieron el mayor crecimiento de ventas de música grabada de la historia. Del otro, la comodidad del tamaño del producto y su sistema de registro, almacenamiento y lectura digital prometían una calidad

y durabilidad del sonido significativamente superior a la de los formatos analógicos previos. Desde finales de la década de 1960 Philips trabajaba en un sistema de almacenamiento óptico, es decir, que utilizara un rayo láser para la codificación y la decodificación de los datos digitales; una década más tarde, y tras un acuerdo con Sony, ese sistema se ponía a punto como una actualización compacta y digital de la tecnología del disco de vinilo: por un lado su diámetro era de 12 centímetros, en consonancia con la tecnología compacta del cassette que, como recuerda Sterne (2012), medía 11.5 centímetros tomado diagonalmente, algo que los hacía comparables en portabilidad –hecho que sugiere, agrega Sterne, que el diseño y la concepción de un formato siempre se referencian en tecnologías y prácticas ya existentes (2012: 14). Por otro lado, las canciones se grababan en unidades binarias de ceros y unos haciendo surcos microscópicos con un láser en la superficie de una de sus caras. Al igual que el gramófono un siglo antes, la grabación de un disco maestro permitía la producción en masa de copias ilimitadas para un mercado global que no dejaría de crecer hasta el cambio de siglo. Y en cuanto a la reproducción, finalmente, un diodo láser proyectaba cual estilete electrónico un haz luminoso sobre los microsurcos digitales del disco en rotación, de modo que la luz, al rebotar sobre la superficie, era captada por un receptor fotosensible que enviaba las señales luminosas a un microprocesador, que interpretaba la luz reflejada como un 1 y la ausencia de luz como un 0, debiendo transformar estos datos binarios en sonido a través de un conversor digital-analógico (Pohlmann, 1989: 47- 48). Como se puede observar, la electrónica también se hacía un lugar en el sistema de funcionamiento del CD. Pero justo cuando se anunciaba que el futuro del sonido se vendería en discos ópticos de 12 centímetros, justo cuando en 1982 se lanzaba al mercado el CD, un fantasma digital empezaba a recorrer subrepticamente el imperio económico de las compañías discográficas.

Ese año de 1982, al mismo tiempo que Michael Jackson publicaba el álbum más vendido de la historia (*Thriller*) y la industria discográfica pasaba por un gran momento, se presentó en Alemania la

4 Fuente: *MIDIa Research*. Recuperado de: <https://www.midiaresearch.com/blog/recorded-music-revenues-hit-21-5-billion-in-2019/>

patente de una “máquina de discos digital”. Lo que se buscaba a través de esta patente era una transformación en el sistema de distribución de la música, que ya no tendría necesidad de embalar discos en estuches de cartón o de plástico para luego distribuirlos en los locales de venta, sino que permitiría el almacenamiento en una única base de datos electrónica a la que se podría acceder a voluntad. Gracias a este sistema de distribución:

Los consumidores podían conectarse a un servidor informático centralizado y pedir la música pulsando el teclado a través de las nuevas líneas telefónicas digitales que se estaban empezando a instalar en Alemania (...). Con un servicio de este tipo, basado en suscripciones, se podría prescindir de las innumerables deficiencias de la distribución física conectando el aparato de música directamente al teléfono (Witt, 2016: 16-17).

Era el germen tecnológico de las plataformas de *streaming* musical, aun cuando internet, tal como hoy la conocemos, no había cobrado forma todavía. El problema, también de índole tecnológica, era que para que la máquina de discos digital funcione, el audio contenido en un disco compacto debía poder reducirse significativamente respecto de su tamaño informacional original, de manera de hacer factible su transmisión por cable, pero la precariedad de aquellas primeras líneas telefónicas digitales, sumado a que por entonces no existía un sistema de compresión de audio semejante, hacían inviable el proyecto, y la patente fue finalmente rechazada.

Entre aquel germen de principios de los años 80s, basado en la idea de la conexión y la suscripción, y el surgimiento de Spotify hacia fines de la primera década del nuevo milenio, pasarán décadas y múltiples experimentos tecnológicos y experiencias socioculturales relacionadas tanto a la distribución como al consumo musical, pero un elemento reaparecerá de manera insistente, como si se tratara de un hilo conductor que se actualiza en cada transformación: la compresión de audio digital, con el MP3 como estandarte de ese proceso. El MP3 es la tecnología que solicitaba la máquina

de discos digital para su adecuado funcionamiento, y será un factor clave en el desplazamiento hacia los márgenes de la cultura del disco compacto, así como en la posibilidad de transmisión de música en *streaming*.

MP3 es la contracción y nombre popular con que se conoce al MPEG-1 Audio Layer III. Fue bautizado de esa manera en abril de 1991, en ocasión de un certamen que el comité de estándares de codificación de audio y video, el Moving Picture Experts Group (MPEG), había organizado en Estocolmo para decidir qué formato de compresión de audio digital era óptimo para su estandarización y comercialización. De un total de catorce candidatos se decretó un empate entre dos de las propuestas, y se decidió incluir tres protocolos distintos para la codificación de audio, a los que denominaron capas (*layers*): el primero, al que se llamó MPEG-1 Audio Layer I, era “un método de compresión optimizado para casete digital que quedó obsoleto prácticamente desde el momento en que se difundió el comunicado de prensa” (Witt, 2016: 29-30). A los dos restantes, que habían sido los ganadores empatados del certamen, se los denominó respectivamente MPEG-1 Audio Layer II y MPEG-1 Audio Layer III: aquél era un grupo integrado por investigadores europeos que respondían al nombre de MUSICAM y contaban con el apoyo financiero de Philips, por entonces dueña de la patente del disco compacto; al otro lo conformaban investigadores alemanes que trabajaban en el Instituto Fraunhofer de Circuitos Integrados. MP2 y MP3, lejos de conformarse con la decisión de un estándar colaborativo, protagonizaron desde entonces una “guerra” de formatos que, luego de una serie de avatares relativos a acuerdos comerciales y políticas de lobby que parecían dejar al MP2 en evidente ventaja comparativa, terminó beneficiando al MP3, por razones que atendían en parte a las cualidades técnicas intrínsecas del formato, pero también al azar y la suerte, dado que “los nombres daban a entender que de algún modo el MP3 era el sucesor del MP2” (Witt, 2016: 71). Aunque formalmente existente desde 1991, las investigaciones para la obtención de un formato de compresión de audio digital que finalmente se conocería como MP3 se realizaban desde mediados de

los años 80, y vería la luz como el resultado de una amalgama de saberes que articulaba, centralmente, las matemáticas, la programación informática y la psicoacústica.

De acuerdo con Witt (2016), tres nombres se vuelven indispensables en el devenir de las investigaciones llevadas a cabo con fondos estatales alemanes por el Instituto Fraunhofer, y cuyos resultados decantarían en la tecnología MPEG-1 Audio Layer III: Dieter Seitzer, Eberhard Zwicker y Karlheinz Brandenburg. Seitzer era el ingeniero informático que había intuido la posibilidad de invención de la máquina de discos digital a partir de los descubrimientos teóricos de su director de tesis, Zwicker –uno de los así llamados “padres” de la psicoacústica, disciplina científica que estudia la forma en la que los seres humanos perciben el sonido. Brandenburg, por su parte, sería el ingeniero electrónico responsable de transformar la idea de su director de tesis, Seitzer, en una tecnología concreta, implementando los conocimientos aportados por la psicoacústica.

Mientras tanto del otro lado del Atlántico, desde finales de la década de 1940, cuando Claude Shannon y Warren Weaver publican la Teoría Matemática de la Comunicación, la información se convierte en una entidad cuantificable (y por lo tanto en un objeto digno de estudio científico) cuya unidad de medida es el *bit*. Shannon, que por entonces trabajaba en los Laboratorios Bell de la compañía American Telephone and Telegraph (AT&T), estudiaba la manera eficaz de lograr “afeitar las frecuencias para que entren más llamadas en una línea” (Sterne, 2012: 20). Ello supuso la necesidad de conocer los alcances y los límites de la escucha humana –que por otra parte venían siendo investigados por la otología, la acústica y la psicoacústica–, pues así sería posible calcular qué partes de la señal transmitida había que retener y cuáles resultaban prescindibles. De esta suerte, la escucha se convertía en un problema de información, y el bit pasaba a ser el *quantum* que medía su cantidad y su peso.

Bit es el acrónimo de *Binary Digit*, o Dígito Binario en castellano. Se trata de un dígito que forma parte del sistema binario, un sistema de numera-

ción que en lugar de usar diez dígitos, como hace el sistema decimal, utiliza sólo dos: ceros y unos –por lo que cada bit puede tener dos valores o estados posibles, cero o uno. Como unidad mínima de información el bit forma parte del proceso de digitalización que posibilita, precisamente, la conversión de señales analógicas a digitales. Para Pohlmann, que analiza la tecnología del disco compacto hacia finales de la década de 1980 –primeros momentos de esplendor del formato–, la principal diferencia entre los sistemas analógicos y los digitales reside en la manera en que representan la información: “la información digital puede existir sólo en piezas, como valores discretos, como números. Esto es ampliamente diferente de la información analógica, donde lo que se registra es un valor continuo infinitamente divisible” (1989: 3). Como consecuencia de esta diferencia, insiste Pohlmann, “con el sistema digital podemos manipular y procesar información de manera más precisa, y por lo tanto lograr un resultado más preciso” (1989: 3). Esto redundaría, según el autor, en otro tipo de ventajas, tales como una mayor fidelidad del sonido y una menor degradación de la información en el tiempo, lo que se va a convertir en un factor clave para los niveles de piratería que no dejarán de crecer durante la década de 1990 y de volverse una preocupación real para la industria discográfica, pues a diferencia de lo que suponía la copia de un cassette “virgen”, las copias digitales (de un original o bien copia de copia) podían ser duplicadas y multiplicadas sin atentar contra la calidad del audio.

La digitalización de una señal analógica –hecho cotidiano de la vida contemporánea y labor necesaria para su procesamiento a través de computadoras tales como la PC y el teléfono móvil– ocurre como resultado de una secuencia de tres instancias fundamentales, a saber: el muestreo, la cuantización y la codificación, siendo esta última aquella por la cual la señal se traduce en una serie de números binarios o bits. Al método más utilizado para digitalizar señales analógicas se lo conoce como PCM, por sus siglas en inglés (Pulse Code Modulation o Modulación por Codificación de Pulsos), fue ideado por el ingeniero británico Alec Reeves en 1937 y desarrollado en primer lugar en telecomunicaciones para los

mensajes de voz, antes de aplicarse al audio digital en general y más notablemente al disco compacto (Sterne, 2012: 254). En el caso de las señales sonoras, una vez captada por un micrófono la presión sonora, que es el movimiento en el aire que generan las ondas emitidas por una voz u otro instrumento (es decir, una vez convertida la onda acústica en pulsos eléctricos), su digitalización consiste, primero, en la toma de muestras de la señal analógica a intervalos de tiempo regulares, procedimiento similar al de la cámara cinematográfica cuando captura el movimiento de manera segmentada en imágenes fijas. Para que la señal analógica pueda ser reconstruida sin errores una vez digitalizada, la tasa o frecuencia de muestreo, que es el número de muestras que se toman por segundo, debe ser superior al doble del ancho de banda de la señal a digitalizar. Esto es lo que había descubierto Nyquist a fines de la década del 20 y comprobado formalmente Shannon a fines de los 40, y es lo que explica que un disco compacto utilice una tasa de muestreo de 44.100 Hertz (es decir que toma 44.100 muestras por segundo), pues si el espectro de frecuencias sonoras que el ser humano promedio puede escuchar oscila entre los 20 y los 20.000 Hertz, entonces los 44.100 Hertz representan una tasa mayor al doble de la frecuencia máxima audible.

Si el muestreo se focaliza en la frecuencia y sirve para representar la señal en el tiempo, convirtiendo la onda en una serie de puntos discretos, la cuantización servirá para representar la amplitud de la señal muestreada, es decir que convertirá en discretos los valores continuos de la amplitud o intensidad de la señal analógica. Visto gráficamente, la señal cuantizada parece escalonarse siguiendo la forma de la representación de la onda original; cuantos más niveles de cuantización se introduzcan, es decir cuanto más precisa sea la discretización de la amplitud de la onda, más se aproximará la señal cuantizada a representar la forma de la señal original. Se diría que se trata de dos instancias de discretización y matematización de la señal analógica: horizontal para el eje de las frecuencias en el tiempo y vertical para el eje de la amplitud. Finalmente, la codificación de la señal consiste en traducir los niveles de cuantización en

una secuencia de bits. Junto con la tasa de muestreo de 44.1 kHz, el disco compacto utiliza una profundidad de 16 bits: se llama profundidad de bits al número de bits utilizados por muestra, lo que para el disco compacto quiere decir que si 1 bit puede tener dos estados o valores de cuantización posibles (2^1), y 2 bits cuatro estados posibles (2^2), entonces la cantidad de valores discretos en una profundidad de 16 bits será de 2^{16} , o lo que es lo mismo, 65.536 valores para representar la amplitud de cada una de las muestras, lo que significa que la onda digital escalonada será lo suficientemente aproximada a la señal analógica como para poder ser reconstruida sin errores significativos (Pohlmann, 1989; Basso, 2001).

Los números de tasa de muestreo y profundidad de bits del disco compacto, que le otorgan una resolución más precisa y un nivel de ruido mucho menor al que produce la púa en el surco del disco de vinilo o la cinta magnética del cassette pasando por el cabezal, suponen una cantidad de información digital muy alta, y es la razón científico-matemática de por qué fue rechazada la patente de la máquina de discos digital cuando fue concebida: tal cantidad de datos podía ser almacenada, pero no transmitida. O, de acuerdo con la explicación de Witt:

La tasa de bits de un CD de audio es de 1.411,2 kilobits por segundos (kbps). En otras palabras, hacen falta 1.411.200 de estos bits para almacenar un segundo de sonido en estéreo. Las primeras líneas telefónicas digitales alemanas transmitían datos a 126 kbps. Es decir, podían transmitir 128.000 de estos bits por segundo. Así pues, las especificaciones de audio de un CD eran 11.025 veces más grandes que la capacidad del conductor de datos (Witt, 2016: 308).

Si el disco compacto empleaba más de 1,4 millones de bits para almacenar un único segundo de sonido en estéreo, la tecnología que posteriormente adoptaría el nombre MP3 debía poder ser capaz de, primero, comprimir esa información reduciendo la cantidad de bits, y segundo, lograr un equilibrio entre la compresión efectuada y la conservación de la calidad del audio, pues a mayor

sustracción de información, mayor riesgo de degradación del sonido. Así fue que se puso a prueba un algoritmo de compresión de audio digital, que utilizaba sólo los datos que el oído humano promedio podía percibir, descartando por irrelevantes –imperceptibles– todos los demás. Dicho de otra manera, se trataba de cumplir con el doble objetivo asumido traduciendo conceptos matemáticos a un código informático que aplicaba las leyes de la psicoacústica. El llamado *algoritmo de Brandenburg* –en referencia a su diseñador– produce un “enmascaramiento psicoacústico”, es decir que recurre a la psicoacústica para comprimir el audio digital. Al decir de Witt, el algoritmo de Brandenburg se sirvió de cuatro limitaciones del oído en la percepción de los sonidos, tal como las estudia la psicoacústica:

En primer lugar, Zwicker había demostrado que lo que mejor captaba el oído humano era cierto espectro de las frecuencias de tono que se correspondía aproximadamente con el rango tonal de la voz humana. En los registros que quedaban por encima o por debajo, la capacidad auditiva disminuía, sobre todo al ir ascendiendo en la escala. Eso implicaba que se les podían asignar menos bits a los extremos del espectro. En segundo lugar, Zwicker había demostrado que las notas de tono parecido tendían a anularse unas a otras. En concreto, las notas más graves tapaban las más agudas, de modo que si digitalizabas música con instrumentación simultánea (por ejemplo, un violín y un violonchelo que sonaban a la vez), podías asignarle menos bits al violín. En tercer lugar, Zwicker había demostrado que el sistema auditivo ignoraba el sonido que se producía después de un fuerte chasquido. Así, si digitalizabas música en la que había, pongamos por caso, un golpe de platillos cada pocos compases, podías destinarle menos bits a los primeros milisegundos que aparecían después de dicho golpe. En cuarto lugar (y esto era lo más increíble), Zwicker también había revelado que el sistema auditivo ignoraba el sonido que se producía antes de un chasquido fuerte. Esto se debía a que el oído tardaba

varios milisegundos en procesar lo que estaba percibiendo, y este procesamiento podía verse afectado si aparecía bruscamente otro sonido más potente. De este modo, volviendo al golpe de platillos, también se le podían asignar menos bits a los primerísimos milisegundos *previos* al golpe (Witt, 2016: 18-19).

A este modo particular de compresión de los datos sonoros se lo conoce como “codificación perceptual”, al que Sterne (2006; 2012) caracteriza como un tipo de codificación para economizar las señales sonoras que utiliza un modelo matemático de escucha basado en técnicas perceptuales. Es decir que por un lado, dice Sterne, se trata de “una máquina diseñada para anticipar cómo sus oyentes perciben música y percibir por ellos” (2006: 828), y por el otro, se construye como ideal un oyente imperfecto cuyas prácticas se darían “en condiciones menos que ideales”.

Dado que la cantidad de bits de un disco compacto era más de 11 veces más grande que lo que eran capaces de transmitir las primeras líneas telefónicas digitales, el proyecto original del Instituto Fraunhofer buscaba poder reducir el tamaño del CD a una doceava parte –o, lo que matemáticamente viene a ser lo mismo, que 12 CDs entraran en el tamaño de uno solo. Sin embargo, el algoritmo de compresión podía aplicarse múltiples veces sobre el resultado de una compresión previa de la misma canción, por lo que el tamaño del archivo obtenido podía ser mayor o menor que la doceava parte del original (Witt, 2016: 308).

Este algoritmo de compresión con pérdida de información es complementado por uno de compresión sin pérdida –llamado algoritmo de Huffman– que, basado en los preceptos de la Teoría de la Información, consiste en conservar toda la información, pero eliminando aquella que es redundante: “estos dos métodos se complementaban a la perfección: el algoritmo de Brandenburg servía para los sonidos complicados y solapados; el de Huffman, para las notas puras y simples”. Retomando el ejemplo de Witt citado anteriormente, el algoritmo de Huffman servía entonces para las

notas “sin los golpes de platillos, sin un violonchelo superpuesto, sin información del registro agudo que hubiera que simplificar” (Witt, 2016: 19-20).

Una vez ultimado el diseño de ambos algoritmos de compresión se puso en marcha, para completar el dispositivo, la creación de dos programas, un codificador y un reproductor: el primero permitía, aplicando los algoritmos, la conversión de los archivos de audio al formato MP3, y se lo llamó *L3Enc* (Level 3 Encoder o, en castellano, Codificador de Nivel 3); el segundo, de nombre *WinPlay3*, resultó de un acuerdo con Microsoft y permitía la reproducción de audio comprimido para Windows 95. Faltaba, para que el círculo pudiera estar completo, la posibilidad de desplazamiento para una escucha móvil, por lo que luego del *Walkman* para el cassette (desde 1979) y del *Discman* para el disco compacto (desde 1984) se trabajaba en el desarrollo del *MPMan*, la primera tecnología portátil en almacenar y reproducir archivos en formato MP3, que aparecería finalmente en 1998.

Para mediados de los años 90, cuando se consumía el último lustro del milenio, el MP3 no había alcanzado un estatuto comercial digno de las ambiciones de sus inventores y dueños de la licencia. En efecto, ya estaba listo su reemplazo por un formato superador, el Advanced Audio Coding (AAC), una segunda generación de compresión psicoacústica desarrollada por los mismos programadores alemanes que era un 30% más rápido y comprimía con mayor eficacia que su antecesor. Sin embargo, las precarias páginas webs y sitios de chat de entonces habían sido suficiente para poner en circulación la posibilidad de descarga conjunta del *L3Enc* y el *WinPlay3* para cualquier interesado que tuviera acceso a una computadora conectada a internet, lo que en los hechos iba a significar un crecimiento significativo de archivos de audio creados, compartidos y reproducidos sin permiso o pago previo por su uso, es decir, al margen de las leyes de derechos de autor y propiedad intelectual.

Pese a que la World Wide Web había sido creada unos pocos años antes a comienzos de la década de 1990, y aun tratándose de conexiones lentas y reducidas en cantidad de usuarios en comparación

con lo que iban a ser los años por venir, la información –ese cúmulo disperso de datos cuantificables y medibles– proliferaba. “Pedir prestado un CD, riperarlo, devolverlo”. Con esta frase Sterne sintetiza la facilidad con la que comenzó a ser posible, a finales de los años 90, comprimir y hacerse de archivos musicales para ser escuchados, coleccionados, compartidos. Además, crear, reproducir y poner en circulación un MP3 era muy poco costoso, con la condición de contar con “una computadora, software, una fuente de energía relativamente confiable y una conexión a internet (debido a estos costos no podemos decir que fuera realmente gratis, aun cuando no implicara directamente una compra)” (Sterne, 2012: 26). Entonces, cuando el MP3 empezaba a circular de manera doméstica y cotidiana en las computadoras de los aficionados a la escucha musical, que se contaban por miles y que a su vez compartían los archivos pirateados multiplicando su alcance, Karlheinz Brandenburg – responsable a cargo del proyecto de compresión de audio digital y padre del MP3– solicitó una reunión con la Recording Industry Association of America (RIAA), asociación representante de las grandes compañías discográficas estadounidenses, para alertarlos sobre la potencial fuerza de propagación de la tecnología y para proponerles la adopción de una protección anticopia que se adosaría al MP3, de manera de limitar las copias ilegales proporcionando un sustituto legal. La respuesta de la RIAA fue que “la industria musical no creía en la distribución musical electrónica” (Witt, 2016: 100).

Finalmente, cuando el oligopolio discográfico empezó a creer en la distribución musical electrónica, o lo que es lo mismo, cuando cayó en la cuenta de que su escepticismo no era suficiente para modificar la realidad, Napster (un sistema de distribución gratuita de música en MP3 por internet) ya contaba con alrededor de veinte millones de usuarios que descargaban unas catorce mil canciones en formato MP3 por minuto (Witt, 2016: 125). El interregno que se ubica entre la crisis del disco compacto –y por lo tanto de la industria musical– y la aparición y consolidación de las plataformas de *streaming*, se despliega así como un desajuste entre la velocidad

y profundidad de la transformación tecnológica entonces en curso, y el espíritu corporativo conservador de los tomadores de decisiones del sector, quienes pretendían no alterar la “pax romana” a la que habían logrado conducirse. Así fue como, justo cuando en los laboratorios científicos se preparaba su reemplazo por el AAC, y por debajo de las expectativas y anhelos empresariales aferrados al disco compacto, el MP3 empezó a tener una vida social, aquella que prepararía el terreno para la emergencia de las plataformas de *streaming* musical, la máquina de discos digital realmente existente de comienzos del siglo XXI. Pero ésa es ya otra historia.

Conclusión

Hemos recorrido el siglo XX a través de sus tecnologías de grabación y reproducción musical. Para ello hubimos de retrotraernos al último cuarto del siglo XIX, período a partir del cual comenzó a ser técnicamente posible separar al sonido de su fuente y amplificarlo en el espacio y en el tiempo. Así, del fonógrafo en adelante, el audio quedaría conservado en diferentes soportes (mecánicos, eléctricos, electromagnéticos) a medida que una serie de investigaciones científicas, innovaciones tecnológicas y prácticas de escucha se conjugaban en la consolidación de una cultura musical —o como decíamos con Sterne: a medida que las relaciones económicas y culturales en torno a las tecnologías sonoras se iban extendiendo, repitiendo y mutando, convirtiendo a esas tecnologías en verdaderos medios socialmente apuntalados.

En ese proceso secular de múltiples y heterogéneos avatares que a la postre confluían en las actuales plataformas de *streaming* musical, un hecho técnico iba a resultar fundamental y particularmente significativo: la digitalización de las señales sonoras analógicas, con sus instancias de muestreo, cuantización y codificación. Si de un lado el disco compacto se amparó en la forma del disco de vinilo y en el tamaño del cassette para almacenar información desde entonces codificada en series de ceros y unos (pues, como vimos, el diseño y la concepción de un formato siempre se referencian

en tecnologías y prácticas ya existentes), consolidando un período de esplendor para una industria musical progresivamente más oligopólica; del otro lado, y posteriormente, el MP3, como tecnología de compresión de audio digital, resultaba de una amalgama de saberes que articulaba matemática, programación informática y psicoacústica (apoyado asimismo en la teoría de la información, que en el marco de los estudios en telecomunicaciones había convertido a la información en una entidad cuantificable y a la escucha en un problema de información). Comparables en tanto se trata de dos tecnologías de audio digital surgidas en el último cuarto del siglo XX, hemos visto cómo el MP3, sin embargo, a contramano del comercio del CD, iba a habilitar nuevas prácticas de escucha musical, debido al bajo o nulo costo que suponía adquirir la música —a través de una conexión a internet— que desde entonces se volvía más barata, más liviana y más fácilmente portable, almacenable y compatible. Sobre esta base, Napster se convertiría hacia el cambio de milenio en un fenómeno cultural a escala masiva, y la caída posterior a su auge, repentina y estrepitosa a causa de demandas judiciales que la llevaron prontamente a la quiebra, abrió la puerta a nuevas experimentaciones en materia de distribución y consumo musical (del iTunes Music Store y el iPod de Apple a las plataformas de *streaming* musical como Spotify, pasando por las redes entre pares como The Pirate Bay y los servicios de descarga directa como Megaupload), pero la cultura del audio digital en el siglo XXI y las máquinas sonoras contemporáneas quedarán, en todo caso, para un próximo artículo.

Referencias bibliográficas

- Basso, G. (2001). *Análisis Espectral. La transformada de Fourier en la música*. La Plata: Ediciones al Margen.
- Chion, M. (2019). “Cómo la técnica modificó el sonido”. En *El sonido. Oír, escuchar, observar*. Buenos Aires: La marca editora (pp. 163-181).
- Pohlmann, K. (1989). *The compact disc. A handbook of theory and use*. Madison: A-R Editions.
- Rodríguez, P. (2012). *Historia de la información. Del nacimiento de*

la estadística y la matemática moderna a los medios masivos y las comunidades virtuales. Buenos Aires: Capital Intelectual.

Simondon, G. (2013). "La invención". En *Imaginación e Invención*. Buenos Aires: Cactus (pp. 157-207).

Sterne, J. (2012). *MP3. The meaning of a format*. Durham and London: Duke University Press.

----- (2006). "The MP3 as cultural artifact". En *New Media &*

Society, Vol.8(5). London, Thousand Oaks, CA and New Delhi, pp. 825-842. <http://dx.doi.org/> [DOI: 10.1177/1461444806067737].

----- (2003). *The Audible Past. Cultural origins of sound reproduction*. Durham and London: Duke University Press.

Witt, S. (2016). *Cómo dejamos de pagar por la música. El fin de la industria, el cambio de siglo y el paciente cero de la piratería*. Barcelona: Contra.