

Patrimonio acústico: desafíos de la comunidad en su salvaguarda

Acoustic heritage: community challenges in its safeguarding

EMILIO MARX¹

Resumen

A pesar de que no existe una definición formal de *patrimonio acústico*, comúnmente se describe como aquel patrimonio que contiene los parámetros acústicos cuantificables de los espacios arquitectónicos y arqueológicos del pasado. El principal problema de esta definición radica en que asume una relación directa—muchas veces artificial o innecesaria— entre patrimonio acústico, patrimonio arquitectónico y patrimonio arqueológico. Sin embargo, este artículo pretende disociarlos, proponiendo al patrimonio acústico como uno independiente. El enfoque abordado por este texto es el de relacionar al patrimonio acústico con el patrimonio cultural inmaterial, ya que el estudio de los parámetros acústicos cuantificables de los espacios arrojan información relevante sobre el uso que las comunidades le dan a sus espacios y, en consecuencia, al estudio de una herencia colectiva. Debido a su dependencia de las nuevas tecnologías y de su intrínseca naturaleza dinámica, el patrimonio acústico posee un enorme potencial por explorar. En ese contexto, este artículo pretende ofrecer una discusión contingente sobre la necesidad de su reconocimiento y de su salvaguarda, así como de la metodología involucrada en el registro de patrimonio acústico de espacios activos y el papel primordial que debe jugar la comunidad en este proceso.

Palabras clave • arqueoacústica, biblioteca de respuestas impulsionales, comunidad, patrimonio acústico.

Abstract

Although there is no formal definition of acoustic heritage, it is commonly described as that heritage that contains the quantifiable acoustic parameters of the architectural and archaeological spaces of the past. The main problem with this definition is that it assumes a direct, often artificial or unnecessary relationship between acoustic heritage, architectural heritage and archaeological heritage. However, this article tries to dissociate them, proposing the acoustic heritage as an independent heritage. The approach addressed by this text is to relate acoustic heritage with intangible cultural heritage since the study of the quantifiable acoustic parameters of spaces yield relevant information on the use that communities give to their spaces and consequently the study of a collective inheritance. Due to its dependence on new technologies and its inherently dynamic nature, acoustic heritage has enormous potential to explore. In this context, this article aims to offer a contingent discussion on the need for their recognition, their safeguarding, the methodology involved in recording the acoustic heritage of active spaces and the primary role that the community should play in this process.

Keywords • archaeoacoustics, impulse response library, community, acoustic heritage.

¹ **EMILIO MARX** | Licenciado en ciencias de la ingeniería, ingeniero civil en sonido y acústica, máster en arte sonoro. Forma parte del colectivo Patrimonioacustic • <https://orcid.org/0000-0002-0909-6606> • emiliomarx.contact@gmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN: 22 de febrero de 2021 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 29 de junio de 2021.

Citar este artículo como: MARX, E. (2021). Patrimonio acústico: desafíos de la comunidad en su salvaguarda. Revista *Nodo*, 31(15), julio-diciembre, pp. 19-31.

Introducción

El patrimonio acústico es un concepto novedoso y poco conocido que tiene por objeto estimar, almacenar y conservar las propiedades acústicas cuantificables de un espacio determinado. Si bien existen estudios académicos al respecto, la discusión sobre su naturaleza, su definición, las directrices para su salvaguarda o las instituciones dedicadas a su catalogación está en una etapa inicial. Estos estudios de patrimonio acústico han estado fuertemente ligados a la investigación arqueológica y arquitectónica. Sin embargo, este artículo pretende ofrecer una mirada distinta enfocada en el uso cultural y social de los espacios acústicos vigentes y la necesidad de su salvaguarda en el presente. Prueba de ello es que en la actualidad no existe ningún patrimonio acústico reconocido formalmente en los inventarios de la UNESCO.

Entonces, si como lo estima la mayoría de los académicos dedicados a su estudio, asumimos al patrimonio acústico como parte de la herencia cultural inmaterial debemos abordar las directrices que establece la UNESCO para su salvaguarda. Desde este punto de vista, la comunidad tiene un papel relevante, pues es precisamente la llamada a proponer su rescate y advertir sobre las respectivas amenazas a este patrimonio. Esto es imposible sin una concientización de la población con respecto a la importancia de nuestros espacios acústicos, una lectura activa del presente y la urgencia de su salvaguarda no sólo debido a razones geológicas, sino en un contexto de cambio climático y de criterios neoliberales de desarrollo.

La metodología está basada en la técnica de respuestas a impulso y tiene por objetivo determinar los principales parámetros acústicos de un espacio cerrado o semicerrado. El registro y almacenamiento de esta información en bibliotecas de respuestas impulsionales nos permite no sólo almacenar la acústica de un espacio en particular, sino que también, mediante un proceso llamado *auralización por reverberación de convolución*, simular digitalmente para la posteridad la respuesta acústica de ese espacio, aunque éste desapareciera o se modificara.

Aunque existen metodologías normadas para realizar este tipo de mediciones —cuya precisión muchas veces es necesaria en el ámbito científico y académico—, el principal objetivo de este artículo es presentar un método sencillo para ser implementado por cualquier persona sin mayores conocimientos teóricos ni equipamiento específico que sirva como un primer acercamiento a este concepto.

Primero se expondrá una discusión sobre el patrimonio acústico y la necesidad de su conservación, detallando el marco teórico asociado al registro de patrimonio acústico.

Este artículo concluye con su implementación en el edificio que alojó la galería de arte contemporáneo Metrònom de la ciudad de Barcelona. Independiente del valor arquitectónico del edificio que contenía este espacio, la razón de la elección de este lugar se debió a la importancia que tuvo para la comunidad artística local, en especial aquella dedicada al arte sonoro y la música experimental. Este espacio —actualmente en desuso— se encuentra a la venta lo que representa una amenaza evidente a su legado cultural.

Metodología

Marco teórico metodológico

Patrimonio acústico

Aunque no existe una definición oficial de su significado, los académicos dedicados a su estudio coinciden en que se trata del patrimonio que contiene los parámetros acústicos cuantificables de espacios arquitectónicos y arqueológicos de nuestro pasado (Đorđević, 2020). El eje central de este concepto gira en torno a la estimación y almacenamiento de parámetros acústicos de un espacio determinado a través de simulaciones digitales o empíricamente por medio de mediciones *in situ*. La salvaguarda de este patrimonio se consigue por medio del almacenamiento de estos datos en bibliotecas de respuestas impulsionales, y la forma más concreta de presentarla es mediante un procesamiento de señal llamado *auralización por convolución*.

Sin embargo, la auralización en el contexto de patrimonio acústico ha sido utilizada en su mayoría con el propósito de presentar espacios ya desaparecidos o de reconocido valor arqueológico o arquitectónico. Es conocido su uso para modelar acústicamente diversas cuevas paleolíticas y construcciones de la antigüedad, permitiendo a arqueólogos y antropólogos estudiar las culturas pasadas. Esto se debe a que, mediante una auralización, es posible entender más acerca de sus ritos y la relación que tenían con los espacios que habitaban. El académico portugués Fernando Coimbra, en su artículo “Archaeoacoustic Analysis of the Ħal Saflieni Hypogeum in Malta”, define y justifica esta novedosa disciplina aclarando que los estudios basados en la acústica brindan información distinta a la que se desprende de la arqueología tradicional:

La arqueoacústica es un campo de estudio interdisciplinario reciente, que utiliza diferentes parámetros para examinar sitios antiguos en busca de tecnología ignorada que opera en la esfera emocional humana. La arqueología se ha centrado con mayor frecuencia en la apariencia visual

y los objetos físicos, aunque el pasado no fue un periodo de silencio. La intención de la arqueoacústica es explorar la importancia del sonido en el pasado y, en particular, su papel en el desarrollo y diseño de la arquitectura ritual y su posible impacto en la actividad biológica del cerebro humano (Debertolis, 2015).

generalmente, los rescates acústicos asociados a la arqueoacústica se consiguen combinando mediciones *in situ* con levantamientos tridimensionales de la estructura original en *softwares* de simulación acústica. La precisión de estos modelos —aunque imposible de corroborar empíricamente— irá en directa relación con la rigurosidad con la que se ingresen los datos de la estructura original y de su entorno, tanto en la forma como en la materialidad de sus superficies. Esto se debe, como ya habíamos anticipado, a que existe una relación directa entre las propiedades físicas de un espacio con los parámetros acústicos del mismo (Blesser, 2007). Quizás el ejemplo más claro en este sentido es el trabajo que se llevó a cabo con la modelación acústica de las ruinas inglesas de Stonehenge.

Stonehenge se puede reconstruir, ignorando elementos modernos como carreteras y aviones ruidosos, y colocar al oyente en el centro de la estructura, para experimentar el sonido de un ritual a medida que sale el sol en el solsticio (Fazenda, 2013).

El problema con esta definición es la asociación implícita que se hace entre el patrimonio acústico con la calidad patrimonial de la estructura física que lo contiene. Ésta es en mayor medida la mirada que se tiene en Europa, debido a que la mayoría de los edificios poseen, de una forma u otra, un reconocimiento patrimonial formal. Así, esta asociación se hace implícitamente funcional sin mayor reparo. Sin embargo, en el contexto más general, ¿es necesario que el patrimonio acústico sea parte de una estructura patrimonialmente reconocida? La idea de este artículo es evidenciar la necesidad de disociar estos conceptos, pues un patrimonio acústico debería estar ligado al uso cultural de un espacio y no necesariamente a la calidad patrimonial de la estructura que lo contiene.

Por otro lado, muchas veces se confunde al patrimonio acústico con el patrimonio sonoro. Mientras que el segundo hace referencia a un legado sonoro mayoritariamente dedicado a preservar tradiciones orales, musicales o sonoras y es reconocido desde 2003 como patrimonio cultural inmaterial por parte de la UNESCO, el patrimonio acústico comprende las características acústicas de un espacio en el que un sonido se propaga, y hasta la fecha no existe nin-

gún patrimonio de este tipo incluido en los inventarios de patrimonio cultural inmaterial de la UNESCO.

Es pertinente entonces preguntarnos si el patrimonio acústico, como el sonoro, corresponde a un patrimonio inmaterial. La respuesta a esta pregunta no es fácil ni definitiva. La relación estrecha entre la acústica y la arquitectura hace preguntarnos si no es el patrimonio acústico, a diferencia del sonoro, parte de la herencia material. No obstante la validez de la interrogante anterior, en general, la mayoría de la bibliografía referente a este tema asume conceptualmente la naturaleza del patrimonio acústico como inmaterial. Damian Murphy, académico de la Universidad de York, propone el siguiente ejemplo para abordar esta disyuntiva:

El patrimonio acústico oscila entre los conceptos de patrimonio tangible e intangible. Fundamentalmente se basa en aspectos físicos y tangibles de nuestros entornos pasados (la madera, la piedra, el ladrillo y otros materiales que hemos utilizado para construir la sociedad a nuestro alrededor) que dan lugar a lo intangible: la acústica y los sonidos asociados con estos espacios, y nuestras experiencias de ellos. Los sonidos que hacemos son transformados por la materialidad de nuestro entorno y, por lo tanto, es nuestra experiencia vivida [...] es decir, las propiedades acústicas cuantificables de edificios, sitios y paisajes de nuestro pasado arquitectónico y arqueológico, caen dentro del alcance de este modelo [el de patrimonio sonoro] más ampliamente definido (Murphy, 2017).

En ese sentido, la UNESCO reconoce como patrimonio cultural inmaterial a las tradiciones y a las expresiones orales —incluido el idioma como vehículo del patrimonio cultural material—, a las artes del espectáculo y a los usos sociales, rituales y actos festivos. El espacio acústico entendido de forma amplia como parte de una memoria perceptiva de una comunidad cabe perfectamente dentro de este enfoque.

Hay cosas que consideramos importantes para preservar para las generaciones futuras. Pueden ser importantes debido a su valor económico actual o posible, pero también porque crean una cierta emoción dentro de nosotros, o porque nos hacen sentir que pertenecemos a algo. Un país, una tradición, una forma de vida... Cualquiera que sea la forma que tomen, estas cosas forman parte de un patrimonio, y este patrimonio requiere un esfuerzo activo de nuestra parte para salvaguardarlo (UNESCO, 2012).

El patrimonio cultural intangible, tal como lo entiende la UNESCO, debe ser propuesto por la comunidad que lo posee

y no externamente de forma individual. Debe declararse además una amenaza que justifique su salvaguarda. A partir de ahí deberá traspasar una serie de etapas a lo largo de aproximadamente dos años hasta ser declarado formalmente como patrimonio inmaterial. Entonces, la comunidad, tanto desde sus bases como de manera formal, a través de sus instituciones, debe tomar un papel fundamental en la conservación de su propio patrimonio.

Así como se identifican y recopilan monumentos y obras de arte, el patrimonio cultural inmaterial también se puede recopilar y registrar... Las comunidades mismas deben participar en la identificación y definición de su patrimonio cultural intangible: son ellas quienes deciden qué prácticas son parte de su patrimonio cultural [...] Los inventarios del patrimonio cultural inmaterial deben incluir todo tipo de expresiones, sin importar cuán comunes o raras sean, cuántas o pocas personas en la comunidad participan en ellas, o cuánto efecto o influencia tienen en esa comunidad (UNESCO, 2012).

Sin embargo, es importante aclarar que en el ámbito de lo patrimonial existen varias voces críticas respecto a lo que tradicionalmente es recatable o no. Por ejemplo, en su libro *Sound Souvenirs: Audio Technologies, Memory and Cultural Practices*, José van Dijck pone como ejemplo las directrices de la Biblioteca Nacional de Australia para la Preservación del Patrimonio Digital y enfatiza en la vaguedad de esta definición: “apoyar la misión de la organización que asume la responsabilidad de preservación”. Van Dijck concluye que el problema de este enfoque, como con toda selección de archivos, es que no está preparado para el futuro de ninguna manera significativa (Bijsterveld, 2009).

En ese sentido, una estrategia posible para abordar el problema es la de implementar una conservación preventiva. Este concepto, desarrollado principalmente desde el ámbito museístico, tiene por objetivo monitorear de manera sistemática un bien cultural y tomar las medidas necesarias para evitar su eventual deterioro. La salvaguarda del patrimonio acústico se puede entender como parte de esta visión más completa de la política proactiva de conservación del patrimonio cultural.

Es por esto que el patrimonio, o cualquier selección de archivos, además del pasado debería considerar una lectura activa del presente. Es decir, la capacidad de anticiparse. Por ejemplo, no tenemos la certeza de si un espacio particular podría, en el futuro, ser catalogado como patrimonial. Entonces, ¿no es ahora el momento de resguardarlo? ¿Son todas las amenazas tan predecibles como para necesitar una de manera explícita para realizar su salvaguarda?

Para graficar esto, un ejemplo muchas veces citado en esta línea es el teatro La Fenice, en Venecia, que después de sufrir un incendio en 1996, fue totalmente reconstruido tomando en cuenta sus propiedades acústicas originales. Esto sólo fue posible debido a que, antes del siniestro, se habían realizado mediciones acústicas como las descritas en este artículo, permitiendo su posterior rescate no sólo de las estructuras, sino también de su sonoridad.

Entonces, por un lado, el patrimonio acústico es un concepto nuevo que transita en una línea un tanto borrosa entre lo tangible y lo intangible, y por el otro, debido a su fuerte determinación a las nuevas tecnologías, se construye de forma constante aportando dinamismo al concepto. Este artículo se inscribe en esa línea y propone una metodología simple que pueda servir de referencia inicial para futuras implementaciones de este tipo de conservación.

Salvaguarda de patrimonio acústico

En primer lugar, es importante recalcar que la presente metodología está destinada a aquellos espacios acústicos cerrados o semicerrados activos, además de aquellos que podemos registrar *in situ* sin la necesidad de simulaciones digitales para poder estimar sus parámetros acústicos.

En segundo lugar, la metodología propuesta por este artículo entiende conceptualmente al espacio acústico como un filtro. En otras palabras, al pasar el sonido por un filtro (el espacio), se modifica, y nuestra audición es la resultante de ese sonido filtrado. Este filtro equivaldrá al patrón de reflexiones sonoras en las superficies del recinto en una ubicación determinada de fuente-receptor, y, como todo sonido, se describirá en función del nivel de presión sonora, de la frecuencia y del tiempo.

¿Cómo registramos entonces el filtro que todo espacio acústico representa? La metodología presentada está basada en que los filtros por naturaleza se definen por su respuesta a un impulso. Esto se explica de la siguiente manera: si producimos algo tan breve y espectralmente amplio que excite un sistema filtrado sólo podremos advertir al filtro por sí solo.

Los guitarristas, por ejemplo, muchas veces hacen uso de este concepto de manera intuitiva. De forma específica, cuando conectan la guitarra a una cadena de efectos dan pequeños golpes sobre las cuerdas para ajustar el tiempo de sus *delay* o el largo de sus reverberaciones. Lo que están realizando en ese momento es escuchar la respuesta a impulso de su cadena de efectos con el objeto de oír con claridad la injerencia de ese filtraje. Lo mismo ocurre en los espacios acústicos cuando aplaudimos o gritamos con el

fin de escuchar el largo de la reverberación de un recinto o la presencia de ecos provocados por su geometría.

Teóricamente, este impulso se conoce como *delta de Dirac*, y corresponde a una función cuyo valor es 1 en el tiempo inicial y 0 para todo el resto del eje de abscisas. Por lo tanto, para poder simular un delta de Dirac en la práctica, debemos realizar un sonido impulsional y que se aproxima por medio de disparos de fogeos, fuegos artificiales, chispas eléctricas o simplemente al reventar un globo, que es probablemente el método más fácil de implementar debido a su bajo costo y su peso liviano (Vernon, 2011). Entre más breve y espectralmente amplio sea este sonido impulsional, más precisa será la caracterización de un espacio acústico. La respuesta acústica de un espacio a este sonido se denomina *Respuesta a impulso* o *Respuesta impulsional*.

La respuesta impulsional $h(t)$ en un punto cualquiera de un recinto contiene toda la información sobre el campo sonoro en dicho punto. La $h(t)$ depende tanto de la forma y de los materiales utilizados, como de los acabados de la sala, de la posición de la fuente sonora y del receptor (Isbert, 1998).

Sin embargo, con los años, los ingenieros acústicos han perfeccionado este tipo de mediciones con métodos mucho más precisos y fieles, pues se han investigado a profundidad los posibles inconvenientes de hacerlo con respuestas a impulso (como con el método del globo). Las dificultades que se plantean desde el mundo de la ciencia se basan en las inestabilidades en el rango de frecuencias, en la distorsión sónica, en la carencia de linealidad y en la inconsistencia en los factores estadísticos de repetibilidad.

A partir de la introducción de la norma ISO 3382.1 (ISO, 2001) para mediciones acústicas de salas se establecieron métodos estandarizados para este proceso. El más empleado es un barrido de frecuencias llamado *sweep*: es reproducido por un sistema de altavoces y registrado en diversos puntos estadísticamente consistentes por microfónica estandarizada.

Aunque es posible llegar a una aproximación de la respuesta al impulso acústico utilizando un globo o un disparo como la fuente de sonido grabada en la posición requerida del oyente, es mucho más común usar una señal analítica reproducida a través de un altavoz (Murphy, 2017).

También es importante recalcar que, en la actualidad, el estándar académico/científico utiliza en su mayoría microfónica ambisonic y altavoces omnidireccionales para emitir complejas secuencias sonoras producidas por algoritmos

computacionales. Sin embargo estos métodos normados requieren de la implementación de un sistema tecnológico muy específico, tanto de reproducción y de grabación como de análisis, lo que hace que muchas veces este proceso sea engorroso, complicado y difícil de implementar en algunos lugares y por algunas personas.

Si bien ahora existen varios métodos modernos de procesamiento de señales para medir la respuesta al impulso [barrido sinusoidal, secuencia de longitud máxima (MLS), etc.], estos sistemas a veces son limitantes debido a los requisitos de *hardware* y computación necesarios. En algunas situaciones no es posible utilizar estos métodos, y los métodos más tradicionales a menudo se emplean cuando se utiliza una aproximación de fuente acústica de la función delta de Dirac. Éste es a menudo un tipo de dispositivo explosivo, impulsivo o de impacto (Pätynen, 2011).

En ese sentido, el método del globo es fiable en el rango de frecuencias de la información de un mensaje sonoro de la escucha humana, además de ser especialmente versátil en su implementación. Esto es fundamental si el objetivo de la medición es el de conservar un patrimonio cultural en una primera instancia, pues permite a pequeños colectivos realizar una salvaguarda acústica sin mayores complejidades ni dependencias externas.

Para aquellos que deseen implementar una metodología más rigurosa pueden encontrarla altamente documentada en diversas publicaciones científicas, incluyendo una técnica diseñada en la Universidad de Stanford para filtrar la respuesta a impulso del globo con el propósito de hacerla extremadamente precisa y comparable con los métodos normados. Tal como aseguran sus autores, este filtro convierte una auralización realizada a partir de la respuesta a impulso del globo en una simulación muy precisa:

Nuestro método sirve para convertir estallidos de globos grabados en ancho de banda de audio completo. Las respuestas de impulso producen una respuesta de impulso de sala precisa y clarificada que puede combinarse con material de audio de muestra para crear auralizaciones del efecto acústico del espacio medido, sin distorsiones del proceso de excitación (Abel, 2010).

Esto permite incluso poder tomar grabaciones realizadas con anterioridad por otras personas sin mayor rigurosidad y convertirlas en material consistente de estudio acústico en el futuro.

Elaboración de una biblioteca de respuesta a impulso

Dicho lo anterior, independiente del método que se utilice en la generación y registro de una respuesta a impulso, es importante recalcar que este proceso sólo permite representar cómo se escucharía un sonido en la posición de la fuente (lugar del impulso) desde la perspectiva del receptor (posición de la microfona). Por lo tanto, debemos entender cada grabación como una representación instantánea de una situación espacial única.

Por ejemplo, si queremos simular cómo escucharíamos un sonido a dos metros en el centro de un recinto debemos posicionar el sistema de registro en esa ubicación. Por eso, para obtener una percepción más precisa y representativa de un espacio, se construyen bibliotecas de respuestas a impulso con mediciones en distintas ubicaciones del recinto. Entre más completa sea la investigación sobre el espacio y las distintas posiciones que se abarquen, tanto del micrófono como del impulso, más completa o específica será la biblioteca de respuestas a impulso. Aplicar esta metodología propuesta nos permitirá obtener, además, dos parámetros muy importantes en la caracterización de un espacio acústico: el tiempo de reverberación y la respuesta de frecuencia. Damian Murphy lo especifica de la siguiente manera, citando al padre de la acústica arquitectónica Sabine:

La propiedad fundamental utilizada para caracterizar, definir u obtener información sobre las cualidades acústicas de un espacio en particular que se obtiene a partir de una respuesta de impulso es el tiempo de reverberación. El tiempo de reverberación (o RT60) se define formalmente como el tiempo (en segundos) que tarda en atenuarse una señal de estado estable en 60 decibelios una vez que la fuente de sonido se ha detenido (Sabine, 1922) [...]. El tiempo de reverberación varía con la frecuencia, y normalmente se cita en bandas de octava (el espectro de audio dividido en 10 octavas entre 20Hz y 20kHz, con una octava definida como una frecuencia de duplicación) (Murphy, 2017).

El almacenamiento de estos datos representa una biblioteca y un archivo de sus principales características acústicas.

El tiempo de reverberación —tanto su valor promedio como su dependencia de frecuencia— es la cantidad más importante para la caracterización acústica de las habitaciones (Volander, 2007).

Por lo tanto, realizar una biblioteca de respuestas a impulso no sólo nos posibilita la elaboración de un archivo, sino

que también posibilita la obtención de los parámetros acústicos más representativos de un espacio determinado.

Entonces, a partir de la elaboración de una biblioteca de respuestas a impulso de un espacio determinado podemos, por un lado, resguardar la acústica de ese espacio y, por el otro, simular posteriormente cómo sonaría ese espacio para cualquier otro sonido aunque dicho espacio desapareciera. Este proceso se llama auralización y es sólo factible en el dominio digital del audio gracias a la aplicación de una operación matemática llamada convolución.

Convolución

La convolución es la operación matemática que sostiene la metodología que desarrolla esta investigación. En específico, es una operación que relaciona una función de entrada $x(t)$ en un filtro $h(t)$ con su función salida $y(t)$ a través de su convolución (*):

$$x(t) * h(t) = y(t)$$

Básicamente, esta operación transforma dos funciones en una tercera, representando de alguna forma una media móvil entre ambas en un intervalo determinado. En definitiva, la convolución es la operación principal en el ámbito de procesamiento de señales digitales. En su libro *The Computer Music Tutorial* (MIT Press, 1996), Curtis Roads describe la convolución de la siguiente manera:

La convolución es una operación fundamental en el procesamiento de señales de audio digital. Todos están familiarizados con sus efectos, incluso si nunca han oído hablar de ella. Cualquier filtro, por ejemplo, involucra la respuesta de impulso con la señal de entrada para producir una señal de salida filtrada. La convolución a menudo se esconde bajo términos más familiares, como filtrado, modulación, reverberación o síntesis cruzada (Roads, 1996).

En la práctica, la convolución es la multiplicación sucesiva de cada elemento de un conjunto numérico con cada uno de los elementos de otro. Entonces, muchas veces se tiende a confundir la convolución con la multiplicación de señales, y si bien hay algo de cierto en esa afirmación, el proceso matemático de la primera es un poco más complejo.

La convolución implica multiplicación, pero la convolución de dos señales es diferente de la multiplicación de dos señales. La multiplicación de una señal a por otra señal b significa que cada muestra de a se multiplica por la mues-

tra correspondiente en b . La convolución, por otro lado, significa que cada muestra de a se multiplica por cada muestra de b , creando una matriz de muestras de longitud b para cada muestra de a . La convolución es la suma de estas matrices (Roads, 1996).

El marco matemático que proporciona la convolución tiene muchas aplicaciones en todas aquellas disciplinas que involucran el manejo digital de señales. Por ejemplo, en óptica, una imagen borrosa es la convolución de la imagen con el filtro borroso que representa el iris o un lente externo. Esto se traduce en un sin fin de aplicaciones en ámbitos tan diversos como la medicina, la geolocalización o la electrónica.

En lo que compete a este método, o sea, desde el procesamiento digital de señales de audio, la convolución modela un sistema que relaciona un audio con un filtro y con su resultante filtrada. de manera específica, al aplicarla desde el punto de vista acústico, vincula un sonido con un espacio y la percepción auditiva de ese sonido en ese espacio.

Esto es posible debido a que estos sistemas se pueden describir de forma general registrando su comportamiento frente a una señal de impulso. Este impulso puede ser emulado en la práctica con diversas técnicas, y el audio registrado correspondiente a la reacción de nuestro espacio a este impulso es conocido como respuesta a impulso.

La respuesta al impulso de una habitación entrega valores que corresponden a los reflejos de varias superficies de la habitación. Cuando dicha respuesta a impulso se conjuga con un sonido arbitrario, el resultado es como si ese sonido se hubiera reproducido en esa habitación, porque se ha mapeado en el patrón de eco de la habitación (Roads, 1996).

Entonces, el principio convolutivo nos dice, en teoría, que si tenemos la grabación de la reverberación de un impulso en un espacio acústico determinado y conocemos el impulso, podemos simular cómo responde aquel espacio ante cualquier otro sonido. El destacado académico Barry Blesser resume de forma general esta analogía:

Un sistema acústico o eléctrico puede caracterizarse por su respuesta a un pulso, como un *click* o una chispa. Cuando se produce un *click* en el escenario, con un micrófono colocado en un asiento de elección, podemos medir la forma en que el espacio acústico modifica el *click*, la respuesta al impulso, que define completamente las propiedades de la transmisión del sonido del escenario al oyente. Alternativamente, cuando el espacio es excitado por una

secuencia de tonos puros, podemos medir la amplitud y la fase de cada tono en el micrófono para llegar a una definición igualmente completa, la respuesta de frecuencia. Podemos convertir matemáticamente una respuesta de impulso en una respuesta de frecuencia, y viceversa. Cualquier tipo de respuesta proporciona una caracterización completa de un sistema de transmisión de sonido. Una sala de conciertos, en teoría, es un sistema de este tipo (Blesser, 2007).

Sin embargo, al momento de implementar en la práctica este concepto teórico, nos encontramos con otras dificultades. El principal problema radica en la cantidad de cálculos que se deben realizar en un periodo corto de tiempo. Pero las propiedades matemáticas de la convolución nos ofrecen una salida: trasladar nuestras señales del dominio temporal al espectral permitiéndonos disminuir de forma ostensible la cantidad de operaciones, ya que la convolución en el dominio del tiempo es igual a la multiplicación en el dominio de la frecuencia, y viceversa (Roads, 1996). Entonces, para dar uso a esta propiedad y reducir notoriamente la cantidad de cálculos, es necesario aplicar transformadas de Fourier, que son las operaciones matemáticas que nos permiten traspasar una función desde el dominio del tiempo al de la frecuencia. Curtis Roads ejemplifica así el beneficio involucrado al llevar a cabo este traslado:

Para citar un ejemplo, considere la convolución directa de dos sonidos de dos segundos muestreados a 48 KHz. Esto requiere 9,216,000,000 operaciones. La convolución rápida con los mismos dos sonidos requiere menos de 1,500,000 operaciones, es decir, una aceleración por un factor de 6100. Dicho de otro modo, una convolución rápida que toma un segundo para calcular en un microprocesador, requeriría 101 minutos para calcular lo mismo mediante una convolución directa (Roads, 1996).

A partir de estos cimientos teóricos, existe un acuerdo general de que el traslado desde el dominio temporal al espectral es la forma práctica de implementar un algoritmo convolutivo para aplicaciones de baja latencia. Es decir, aplicar transformadas de Fourier tanto a nuestro impulso registrado como al sonido que se desea filtrar, multiplicar ambas señales en vez de convolucionarlas, y aplicar una transformada de Fourier inversa a la resultante. De una manera u otra, todos los códigos que corresponden a realizar convoluciones en audio utilizan esta forma de optimizar el procesamiento.

Desarrollo práctico

Como ya se ha adelantado, la comunidad debe tener un papel preponderante en la salvaguarda del contexto patrimonial inmaterial. Por eso, el enfoque propuesto debe considerar este factor. Es decir, ofrecer una metodología práctica de fácil implementación por cualquier persona o grupo perteneciente a una comunidad.

Como sabemos, existen diferentes formas para llevar a cabo este proceso. Varias se han enumerado antes en este texto. Tomando en cuenta la finalidad del proyecto, las fortalezas y debilidades de cada una de las técnicas, se decidió elegir la técnica del globo debido a la versatilidad que ofrece al ser capaz de ser replicada por cualquier persona sin necesidad de conocimientos ni de equipamiento específicos.

Así, el equipamiento inicial propuesto es el siguiente:

- Globos
- Aguja
- Sistema de grabación de audio y micrófono
- Sistema de registro audiovisual (opcional)
- Cinta métrica (opcional)

Con respecto a este equipamiento básico, se sugiere que los globos tendrían que tener, idealmente, un diámetro por sobre los 18 cm. La razón es que mientras mayor sea el diámetro, habrá una mejor respuesta en bajas frecuencias (Pätynen, 2011). También se recomiendan sistemas integrados de grabación y almacenamiento, como grabadoras de campo o móviles que facilitan la autonomía y la rapidez de la medición.

Básicamente, el proceso de registro *in situ* se compone de tres etapas:

1. Definir ubicaciones de registro

Esta etapa es una de las más importantes de este proceso. Recorrer el espacio realizando aplausos, gritando o reventando globos nos entrega información suficiente sobre las diferentes sonoridades del espacio. Puede sorprender cómo sólo ubicándonos a poca distancia de un punto podemos escuchar algo absolutamente distinto. Aunque el registro de respuesta a impulso es una actividad que se puede realizar de forma individual, es recomendable hacerla mínimo con dos personas. Esto permitirá abarcar distancias más amplias de escucha, de registro, y optimizar el tiempo de grabación.

Al tratarse de una medición de conservación acústica, es importante, dentro de lo posible, hacer una lectura adecuada del espacio. Por ejemplo, si queremos realizar la salvaguarda de una sala de teatro, probablemente la ubicación

más representativa de ese espacio acústico sea la relación entre escenario-público. Es decir, deberíamos situar nuestra fuente sonora (el globo) en la posición del orador o del sistema de amplificación, y nuestra microfónica en las ubicaciones más representativas del público.

Con las ubicaciones planificadas tanto de emisión como de recepción sonora, podemos comenzar el registro.

2. Registro de respuestas a impulso

Se ubica la microfónica elegida en la posición del receptor, se inicia la grabación con el sistema de registro y se revienta un globo en la posición del emisor. En esta etapa es importante cuidar la optimización de la relación señal-ruido sin llegar a distorsionar el audio, ajustando la ganancia de la microfónica hasta conseguir un nivel adecuado.

Así sucesivamente para cada distribución espacial definida previamente.

3. Documentar gráficamente el registro

Paralelamente se recomienda documentar el registro, pues nos permite complementar los audios con información respecto a la ubicación específica de cada una de las respuestas a impulso. Esta información es relevante al momento de elaborar la biblioteca de respuestas a impulso y para estudios posteriores o comparativos.

Elaboración de la biblioteca de respuesta a impulso

Para elaborar la biblioteca a partir de una grabación realizada se requiere un proceso de postproducción de audio, con el siguiente equipamiento:

- Ordenador
- *Software* de edición de audio (DAW)

Con el objetivo de conseguir el material final se proponen las siguiente actividades:

1. Importación del registro de respuestas a impulso a *software* de edición de audio: se importan los audios del registro *in situ* a la estación de trabajo, cuidando respetar los formatos originales de la grabación para no alterar su calidad.
2. Edición de respuestas a impulso en *software* de edición de audio: se editan los audios de tal manera de cortar cada una de nuestras respuestas a impulso desde el *sample* anterior al impulso hasta que sólo se tenga ruido de

fondo. Se normalizan las secciones elegidas, se realizan *fades* de salida y se consolidan como región de audio independiente.

3. Exportación de respuestas a impulso: se exportan los audios consolidados en formato WAV O AIFF, identificando cada uno con un nombre distinto a una carpeta que corresponde a nuestra biblioteca de respuestas a impulso.
4. Creación material gráfico complementario (opcional): con ayuda del material gráfico podemos relacionar cada una de las respuestas a una ubicación en el plano del espacio creando fichas de medición en las que se describa el espacio, las ubicaciones de medición y el equipamiento utilizado.

Una vez elaborada nuestra biblioteca de respuestas a impulso obtenemos un archivo de patrimonio acústico que, además de su valor *per se*, tiene un enorme potencial. Después, a través de su auralización por convolución de audio, se pueden obtener diversas aplicaciones que permitan incluir la acústica de ese espacio en narrativas culturales, artísticas, musicales, creativas, e incluso en el ámbito del entretenimiento.

Implementación y resultados

A partir de los objetivos y la metodología propuestas se implementa a continuación una actividad práctica con el fin de obtener resultados concretos de lo antes descrito. El recinto elegido para ejemplificar esta metodología es el edificio que alojó la sala de exposiciones de arte contemporáneo Metrònom.

Este espacio, en la actualidad inactivo y en venta, representó en las pasadas décadas un importante polo cultural de la ciudad de Barcelona. Por su nave principal pasaron destacados músicos experimentales y artistas sonoros, tanto locales como internacionales, que hicieron de su espacio acústico parte fundamental de sus entregas debido a su particular sonoridad.

Este trabajo pretende visitar esa acústica basado en la premisa de que el espacio —tal como la música o los sonidos— puede constituir una herramienta evocadora de afecto.

En este sentido, el edificio que alojó Metrònom en la ciudad de Barcelona representa no sólo una construcción de destacado nivel patrimonial arquitectónico, sino también a un reconocido lugar destinado al arte contemporáneo. El espacio acústico jugó un papel especialmente pre-

ponderante en la simbiosis entre los artistas y el público asistente. Es por ello que nace la idea de implementar aquí la parte práctica de este trabajo. Metrònom, en este sentido, cumple con muchas de las condiciones para ejemplificar lo que se desarrolla metodológicamente a lo largo de este trabajo.

Por un lado, debido a su carácter patrimonial, debe ser resguardada no sólo su estructura física, sino también su espacio acústico. Por el otro, corresponde a un espacio donde no sólo una persona, sino una comunidad entera dedicada al arte construyó una memoria acústica que hoy, años después de su cierre, merece ser evidenciada. No sólo para aquellos que lo experimentaron; también para quienes no.

Espacio de estudio

Metrònom (Sala d'Exposicions d'Art Contemporani)
Carrer de la Fusina, 9
Barcelona, España

Metrònom como patrimonio arquitectónico

A continuación se detalla la información oficial del Ayuntamiento de Barcelona respecto a la calidad patrimonial del edificio.

Descripción | Edificio entre medianeras, de planta baja de 4.24 m la altura y planta piso de 3.50 m la altura, que no desvirtúa el tipo Fontseré. El inmueble dispone el acceso directo desde la vía pública, donde la fachada del edificio consta de cinco arcadas a toda altura, con elementos arquitectónicos decorativos, y el acceso principal se hace por la arcada central. La fachada del edificio presenta actualmente un muy buen estado de conservación, de forma que no se efectuó ninguna actuación sobre el estado original de la piedra. Únicamente se limpió con agua y jabón para dejarla en su estado de color original. Con el fin de resaltar el conjunto arquitectónico de piedra de la fachada, hay seis focos totalmente integrados y orientados verticalmente de forma que ayuden a resaltar el efecto óptico que se desea, el de ser un edificio destinado a sala de exposiciones del arte. El inmueble está coronado por una barandilla calada y un frontón central circular (Ajuntament de Barcelona, n.d.).

El edificio que alojó Metrònom se ubica en la ciudad de Barcelona, más específicamente en el barrio del Born. La construcción de este edificio data de 1880 y tiene el reconocimiento de patrimonio arquitectónico por parte del

ayuntamiento de la ciudad desde el año 2003. Su nivel de protección es B, que corresponde a “Bienes culturales de interés local”.

Los planes establecen cuatro niveles de protección. La categoría superior la forman los elementos con nivel A (Bien cultural de interés nacional), decididos por la Generalitat. La siguiente categoría la forman los de nivel B (Bien cultural de interés local), decididos por el Ayuntamiento y ratificados por la Generalitat. El nivel C (Bien de interés urbanístico) es competencia absoluta del Ayuntamiento. Por último, los de nivel D (Bien de interés documental). Para las tres primeras categorías es obligado el mantenimiento, no es posible el derribo, mientras que al nivel D se permite el derribo después de presentar y ser aprobado un estudio histórico-arquitectónico (Ajuntament de Barcelona, n.d.).

Además, de lo anterior, el edificio se sitúa en una manzana que cuenta con la denominación patrimonial de zona de conservación del centro histórico de la ciudad. Todo esto convierte al edificio que albergó a Metrònom en un reconocido patrimonio arquitectónico de la ciudad de Barcelona.

Antecedentes históricos y culturales de Metrònom

Originalmente, el edificio de Carrer Fusina, 9, se utilizó como un almacén de especias. Sin embargo, un siglo después de su construcción fue comprado por Rafael Tous para trasladar su proyecto cultural Metrònom, que inicialmente se domiciliaba en Sant Gervasi. Una vez adquirido el edificio, en 1982 el espacio es remodelado con el fin de recuperar sus características originales. Esta conservación incluso fue premiada por el FAD en 1984 (Geifco, n.d.).

El 29 de noviembre de 1984 la sala abre sus puertas y se mantiene como un potente dinamizador cultural de la ciudad hasta 2005.

Muchos de sus proyectos fueron históricos por su novedad en cuanto a planteamientos expositivos y por lo radical de las propuestas, y su calidad ha sido reconocida, entre otros, por la Fundación ARCO, por el Centro Cultural Euskal Etxea, por la Generalitat de Catalunya y por el Ayuntamiento de Barcelona (Geifco, n.d.).

Durante este tiempo, Metrònom contó con una programación cultural reconocida internacionalmente, convirtiéndose en un espacio pionero de la ciudad de Barcelona en materia de arte contemporáneo.

Era un espacio que programaba un tipo de conciertos, exposiciones y performances de forma gratuita, que no se podían ver o escuchar en ninguna otra parte de la ciudad. Por un lado, la generosidad y el mecenazgo de Rafael Tous, y por el otro, el permanente contacto de Barbara Held con los compositores y músicos más inquietos e innovadores de la escena mundial, hacían que siempre hubiera propuestas atractivas y únicas. Además, con la libertad de no deberse a ninguna “marca” u oficina de gestión concreta (Conangla, 2020).

Por Metrònom no sólo pasaron reconocidos artistas, sino que también fue lugar para la experimentación, dando espacio de producción a creadores emergentes. Al revisar sus programas sorprende la calidad y la cantidad de artistas que se presentaron en Metrònom durante sus veinte años de existencia.

Entre ellos podemos destacar: Eric Weiss, Francisco Ruiz de Infante, Daniel Canogar, Jan Peter E.R. Sonntag, Paloma Navares, Antoni Abad, Eulàlia Valldosera, Don Ritter, Lewis de Soto, Mabel Palacín, Daniel García Andújar, Ana Busto, Mayte Vieta, Esther Mera, Chema Alvargonzález, Aiyoung Yun, Sylvie Bussières, Txomin Badiola y Francesc Abad, Phill Niblock, Christian Marclay, Elliot Sharp, Paul Panhuysen, Ellen Fullman, Llorenç Barber, Charles K. Noyes, Takehisa Kosugi, Barbara Held, Josep Manuel Berenguer, Miquel Gaspà, Pauline Oliveros, George Lewis, Evan Parker, Tenko & Ikue Mori, entre otros más.

Durante ese tiempo, el espacio contó con cuatro salas independientes capaces de albergar una gran cantidad de exposiciones simultáneas. Su sala central, de más 400 metros cuadrados, tenía la particularidad que muchas de las obras que ahí se presentaban habían sido creadas para ese espacio en específico.

Esta condición de proyectos *site-specific* era esencial para el éxito de la programación, ya que permitía una adecuada fusión entre la peculiar arquitectura de la sala, produciendo continuos diálogos y relecturas críticas (Geifco, n.d.).

Esto último es uno de los hechos más importantes que determinó la elección de este espacio para este trabajo. La composición *site-specific* puede ser una de las aplicaciones más evidentes en el ámbito creativo de una biblioteca de respuesta a impulso. En este sentido, poder componer una pieza simulando el lugar donde se ubicará posteriormente permite al artista tener algunas certezas de cómo interactuará su entrega con el espacio, incluso sin estar presente o sin conocerlo.

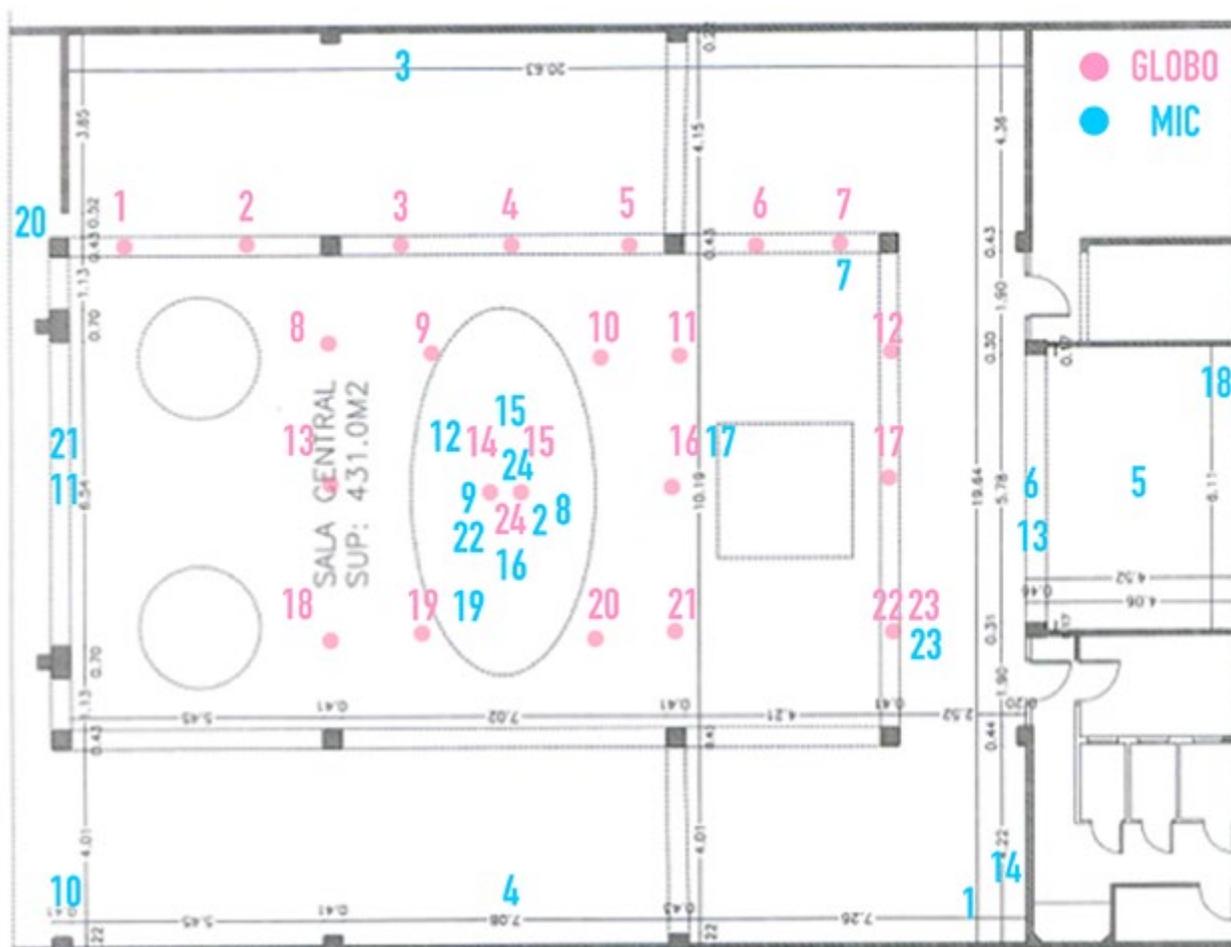


Figura 1 Ubicación de registros en Metrònom.

Registro y elaboración de biblioteca de respuestas a impulso en Metrònom

A principios de julio de 2020 se procedió al registro del patrimonio acústico de Metrònom. El equipamiento utilizado fue el siguiente: globos de 40 cm de diámetro, aguja, grabadora zoom h2n y móvil iphone 8 para hacer una documentación gráfica del registro. Una vez recorrido el espacio y tomando en cuenta el desarrollo práctico y la metodología, se definieron las ubicaciones en la nave central de registro receptor/fuente (figura 1).

Después se llevó a cabo la grabación, ubicando los globos y el sistema de registro en las posiciones previamente planificadas (figuras 2 y 3).

Posteriormente se importaron los audios obtenidos desde la grabadora a una sesión de Pro Tools 10, cuidando de mantener el mismo formato de grabación. Los audios fueron editados, normalizados y exportados. La biblioteca resultante corresponde a un total de 29 respuestas a impulso divididas en 4 salas del edificio.



Figura 2 Montaje de globos en Metrònom.

Descarga Biblioteca Metrònom • https://drive.google.com/drive/folders/1jSC3GlnzHG7umXIfyDieGNj_No9hUZQ?usp=sharing



Figura 3 Montaje de globos en Metrònom.

Conclusiones

El presente artículo no pretende ahondar en las metodologías científicas ya existentes respecto al registro de las propiedades acústicas cuantificables de un espacio, sino más bien presentar los cimientos teóricos y prácticos para que una comunidad empoderada sea capaz de dar un primer paso en la resguarda de sus propios espacios acústicos. La razón de esta propuesta ha sido la de concientizar y crear un círculo virtuoso entre la comunidad y sus administraciones. A mi entender, ésta es la principal herramienta de la que disponemos para garantizar una dinámica social proactiva que dé paso a un reconocimiento formal del patrimonio acústico en los próximos años.

En ese sentido, la UNESCO postula que depende de cada Estado integrante garantizar la protección de su patrimonio cultural inmaterial. Además, sostiene que se debe realizar articulando diferentes actores sociales, como ONGs, colectivos y comunidades locales que se encarguen de la

identificación de estos elementos. A partir de este diálogo, los Estados deben poner en marcha proyectos para su conservación y proponerlos para su catalogación. Esta simbiosis es prácticamente imposible sin el conocimiento de la naturaleza e importancia de este patrimonio a nivel formal desde las administraciones oficiales o a nivel ciudadano.

Este reconocimiento se producirá, probablemente, en la medida en que más actores se dediquen a valorar este patrimonio, lo que permitiría generar bibliotecas que sirvan de precedente para inventarios futuros, pero por sobre todo, concientizar a la comunidad que se representa y a sus instituciones locales. La relevancia de esta dinámica es la creación de una estructura capaz de abordar de mejor manera los desafíos futuros en el ámbito del patrimonio acústico.

Hay que entender la metodología presentada en este artículo —en específico la técnica de respuestas a impulso— de la misma forma en que sabemos que un jpg, un

video, un mp3 o un pdf son sólo una representación digital acotada de una realidad mucho más compleja y dinámica. Por ejemplo, sé que cuando miro una foto o un video de un paisaje no estoy en ese lugar, que no se siente lo mismo que estar realmente ahí. De la misma forma, al escuchar un mp3 no es lo mismo que estar frente a esa banda en vivo. Siendo más específico, sabemos que no es lo mismo un registro de video en 4K que en super 8 o VHS, como también sabemos que no es lo mismo un aiff, que un mp3 o un midi. Cada formato tiene particularidades propias, con las que podemos construir archivos muy distintos y todos igualmente válidos. Las fotos, los videos o los audios nos entregan información relevante sobre un lugar, una persona o un sonido. Nos permiten almacenarlo y revivirlo en el futuro. Ése es el lugar en el que este trabajo se posiciona.

La protección del patrimonio inmaterial y cómo encontrar formas de fomentar la participación comunitaria son asuntos de investigación académica en el presente. Una de las líneas que se desarrolla actualmente en ese sentido gira en torno a la creatividad artística y a cómo se involucra a la comunidad. Una biblioteca de respuestas a impulso y su posterior utilización mediante auralizaciones convolutivas en entornos creativos, artísticos y colectivos cabe perfectamente dentro de esta visión. Es evidente que, al tratarse de una metodología basada en el procesamiento digital de audio, su potencial futuro estará también directamente relacionado con el avance tecnológico.

Por último, es importante recalcar que académicos y científicos deben trabajar en desarrollar a futuro una metodología limpia y menos invasiva con el entorno para el registro de patrimonio acústico. Todos los métodos hoy utilizados padecen de alguna manera esta falencia: desde la dependencia excesiva de sistemas eléctricos, altos niveles de contaminación acústica y el uso de insumos contaminantes, hasta, por ejemplo, el globo de plástico propuesto en esta investigación. ●

Referencias

- ABEL, J. S., BRYAN, N. J., HUANG, P. P., KOLAR, M., & PENTCHEVA, B. V. (2010, November). Estimating room impulse responses from recorded balloon pops. In *Audio Engineering Society Convention 129*. Audio Engineering Society.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA. (n.d.). Protección del patrimonio arquitectónico. Accedido Abril 15, 2020, <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/servicios/la-ciudad-funciona/urbanismo-y-gestion-del-territorio/proteccion-del-patrimonio-arquitectonico>
- BIJSTERVELD, K., y VAN DIJK, J. (2009). *Soundsouvenirs: audio technologies, memory and cultural practices*. Países Bajos: Amsterdam University Press.
- BLESSER, B., y SALTER, L. R. (2007). Spaces speak, are you listening. *Journal of the Audio Engineering Society* 55(3), 202-203.
- CONANGLA, F. (2020). Metrònom. Correo electrónico.
- DEBERTOLIS, P., COIMBRA, F., y ENEIX, L. (2015). Archaeoacoustic Analysis of the Hal Saflieni Hypogeum in Malta.
- DORDEVIĆ, Z., DRAGIŠIĆ, M., MANZETTI, M. C., y NOVKOVIĆ, D. (2020). Digitization of Acoustic Heritage in a Service of Protection, Research and Promotion of European Cultural Heritage. In *Digital Cultural Heritage*, 433-447). Springer, Cham.
- HERITAGE IN A SERVICE OF PROTECTION, RESEARCH AND PROMOTION OF EUROPEAN CULTURAL HERITAGE. In *Digital Cultural Heritage*, 433-447. Springer, Cham.
- FAZENDA, B. M. (2013). The acoustics of Stonehenge. *Acoustics Bulletin*, 38(1), 32-37.
- GEIFCO (n.d.). Metrònom. Retrieved April 15, 2020, http://www.geifco.org/actionart/actionart01/entidades_01/CENTROS_CULTURALES/metronom/metronom-tit.htm
- ISBERT, A. C. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos (4). España: Univ. Politèc. de Catalunya.
- ISO, U. (2001). 3382: 2001. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.
- MURPHY, D., SHELLY, S., FOTEINOU, A., BRERETON, J., y DAFFERN, H. (2017). Acoustic heritage and audio creativity: the creative application of sound in the representation, understanding and experience of past environments.
- PÄTYNEN, J., KATZ, B. F., y LOKKI, T. (2011). Investigations on the balloon as an impulse source. *The Journal of the Acoustical Society of America* 129(1), EL27-EL33.
- ROADS, C., y STRAWN, J. (1996). *The computer music tutorial*. MIT Press.
- SABINE, W. C. (1922). Origin of the Musical Scale. *Collected Papers on Acoustics* 113.
- UNESCO, U. I. C. (2012). What Is Intangible Cultural Heritage?.
- VERNON, J. A. (2011). *Acoustical Characterization of Exploding Hydrogen-Oxygen Balloons* (Doctoral dissertation), Brigham Young University.
- VORLÄNDER, M., y SUMMERS, J. E. (2008). Auralization: Fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms, and acoustic virtual reality. *Acoustical Society of America Journal*, 123, 4028.