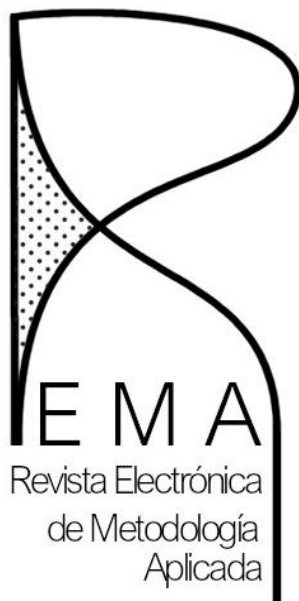


La Sonificación como herramienta en Psicología

Susana Carnero-Sierra*

Departamento de Psicología, Universidad de Oviedo



Referencia: Carnero-Sierra, S. (2022). La sonificación como herramienta en Psicología. *Revista Electrónica de Metodología Aplicada*, 24(2), 31 - 44.
<https://doi.org/10.17811/rema.24.2.2022.31-44>

***Correspondencia:**
carnerosusana@uniovi.es

Recibido: 8/05/2022
Aceptado: 17/06/2022
Publicado: 15/07/2022

Resumen: La sonificación es una herramienta de representación y análisis que emplea el sonido como conductor de una serie de datos. La transcripción sonora empleando frecuencia, intensidad y timbre permite expresar diferentes magnitudes y matices de un conjunto de observaciones. En el presente trabajo se mostrarán los fundamentos de la herramienta de la sonificación así como sus usos más comunes en psicología, entre los que se encuentran el aprendizaje motor, la discriminación perceptiva y representación de respuestas en ciertas patologías que conectan con el protagonismo del ritmo como factor imprescindible en la organización de lo orgánico. A través de la recopilación de la bibliografía existente se expondrán estas aplicaciones y sus posibilidades en otros campos. A modo de ejemplificación, se propone una conversión sencilla de una representación gráfica de una curva normal en su versión auditiva. Como interpretación final, se destacarán las posibilidades del sonido como herramienta metodológica, abriendo caminos interdisciplinarios y multisensoriales en investigación.

Palabras clave: sonificación; aprendizaje; música; ritmo; curva normal.

Abstract: Sonification is a representation and analysis tool that uses sound as conductor of a series of data. The transcription to frequency, intensity and timbre allows expressing different magnitudes and nuances of a set of observations. In this text, the fundamentals of the sonification will be shown, as well as its most common uses in psychology: motor learning, perceptual discrimination and representation of responses in certain pathologies that connect with the role of rhythm as essential factor in the organization of the organic. Through the compilation of the existing bibliography, sonification applications and their possibilities in other fields will be exposed. As an example, a simple conversion of the graphic representation of a normal curve into its auditory version is proposed. As a final interpretation, the possibilities of sound as a methodological tool will be highlighted, opening interdisciplinary and multisensory paths in research.

Keywords: sonification; learning; music; rhythm; normal curve.



Introducción

Se denomina sonificación al conjunto de técnicas y herramientas que permiten la manipulación de las características del sonido al servicio de multitud de usos (Kramer et al., 1999). La amplitud de esta manipulación ha permitido construir una disciplina de representación y análisis en sí misma, al emplear el sonido como vehículo de representación de datos o presentación de estímulos.

Gracias al espectro de complejidad que existe dentro de los matices del sonido, como podemos apreciar desde la inagotable riqueza que podemos escuchar del ruido a la música, es posible aplicar la sonificación con gran versatilidad. En este sentido es posible sonificar realizando traducciones directas de magnitud numérica hacia dimensiones temporales (la velocidad a la que transcurre una pieza sonora, medida en segundos), la frecuencia (variación de tonalidad, cuanto menor valor en Hz categorizamos un sonido como grave, un mayor valor en Hz entendemos un sonido como más agudo) y/o la intensidad (lo que conocemos comúnmente como volumen, medido en decibelios). Estos sería los tres componentes básicos de lo musical, enriquecidos si ascendemos en complejidad con los elementos rítmicos (se combinan diferentes duraciones de sonido), o variaciones del timbre (característica específica y particular que cada instrumento aporta al interpretar un sonido dependiente de sus dimensiones y materialidad). Cualquier elección dentro de estos elementos se deriva hacia representaciones sonoras compatibles con curvas sencillas trazadas en sendos ejes de abscisas y coordenadas, que se podrían sustituir por el transcurso del tiempo y la frecuencia sonora respectivamente. Pero más allá de estas posibilidades básicas de traducción, la caracterización y combinación de los diferentes componentes de sonido permiten también la salida de datos en forma de piezas musicales, cuando entra a formar parte de la herramienta sónica componentes más complejos dentro de una pieza sonora como son la melodía o la armonía (Neuhoff, 2011).

Sin embargo, no es habitual plantear que la representación y análisis que abordamos de un conjunto de datos se realice en otros formatos diferentes del gráfico y numérico. Es decir, es la modalidad visual, la vista, la que se encarga de interactuar con la información en las comparaciones científicas. Por tanto, entendemos normativamente que las diferencias entre magnitudes que se miden en las ciencias se representan, estiman y juzgan usualmente desde la representación visual, materializada en hojas de cálculo, bases de datos, ejes y gráficas. Son si acaso, aquellas disciplinas cercanas al sonido las que han desarrollado metodologías cuyas coordenadas se encuentran en el ámbito temporal más que en el espacial. Ingenierías relacionadas con el sonido, la audiología, todos los ámbitos de competencia y conocimiento musical, así como disciplinas que estudian adaptaciones en estados de privación sensorial visual sí consideran de manera extensa recursos desde la denominada sonificación: la representación y análisis de datos a través del sonido. Una definición bastante aceptada de la sonificación es la que proporciona Kramer et al. (1999) donde declara que la sonificación se caracteriza como una transformación de conjuntos de datos a relaciones de señales sonoras no verbales con ciertas intenciones, siendo las principales la comunicación, la representación o la interpretación de datos (Kramer et al., 1999, p.4).

El sonido, por tanto, se desenvuelve en el tiempo. Muchos estudios comprueban las buenas capacidades de discriminación de los eventos temporales en muchas especies, entre ellas los humanos (Neuhoff, 2011; Marshall y Kirkpatrick, 2015). La sonificación como propuesta metodológica supone trasladar la representación de datos del espacio visual al espacio temporal, pasando de magnitudes visuales de representación en alturas de barras o pendientes de curvas a magnitudes sonoras de características temporales, como se encuentra en la medida básica de frecuencia sonora, los ciclos por segundo o hercios (Hz). No es casualidad que las artes dedicadas a la música y el cuerpo en movimiento se clasifican dentro del grupo de las artes temporales, transcurriendo por definición en el tiempo.

Hoy en día se emplean varias categorías de sonificación. En primer lugar, podemos tipificar la sonificación como musical y no musical, es decir, una opción para trabajar es el uso de tonos simples como traducción directa de diferentes magnitudes, sin pretensión de organización musical. Sin embargo, otra opción resulta de tener como objetivo la construcción de una pieza musical considerando sus dimensiones principales el tempo, el ritmo, la tonalidad, el timbre (Neuhoff, 2011) e incluso ascendiendo en complejidad, empleando melodía y armonía. Un muy buen ejemplo de esta posibilidad es la aplicación de la sonificación en el diagnóstico, como representa los trabajos en detección de células tumorales (Edwards et al., 2010). Así, una de las grandes potencialidades de la sonificación es revelar y facilitar la detección de datos disonantes que, aunque numérica y visualmente puedan fácilmente pasar desapercibidos, resultan muy salientes en su versión musical. Un trabajo llamativo en este aspecto es el caso de Buehler (Buehler, 2020; Yu et al., 2019), quien realizó una propuesta de traducción y caracterización de proteínas del virus covid-19, obteniendo una pieza musical con una coherencia y género musical muy determinado, logrando una representación en conjunto armónica, pero cuyas partes en disarmonía propone como una oportunidad para detectar partes clave del virus para la obtención de información relevante para tratamientos y vacunas. Como en este caso, muchos de los autores más involucrados en este tipo de técnicas defienden las posibilidades de la sonificación ante la representación de grandes cantidades de datos, al encontrar a través del sonido una síntesis que, como perceptores, podemos manejar gracias a las posibilidades gestálticas de agrupación de la información del fenómeno musical

En segundo lugar, y regresando a las formas de categorizar las técnicas de sonificación, dependiendo del uso metodológico la sonificación puede servir a una función descriptiva y/o de análisis. En este caso el uso más sencillo sería la construcción de gráficas sonoras sin menoscabar funciones de mapeo de datos e incluso la implementación de modelos sonificados, con cabida a la predicción y simulación de resultados (para realizar una consulta pormenorizada sobre el tipo de funciones y técnicas de la sonificación ver Walker y Nees, 2011). En tercer lugar, atendiendo al tipo de interacción que el perceptor puede establecer con el material sonoro, la sonificación puede ser pasiva (la pieza sonora resultante se escucha o analiza sin sufrir ningún cambio) o interactiva (existe la posibilidad de interacción por parte del perceptor, generando cambios en la pieza sonificada). Se destacan en esta última ejemplos dentro del biofeedback, en concreto desde la posibilidad de modular la relajación inducida por un sonido a través de su impacto en el patrón respiratorio en patologías respiratorias agudas (Van Kerrebroeck y Maes, 2021). Por último, es importante destacar un último tipo de sonificación, que linda con el campo de la semiótica (Walker y Nees, 2011). Se entiende que la sonificación posee desde luego una función denotativa (una definición o representación directa del material en el que se basa) pero también puede alcanzar altos niveles de abstracción con matices connotativos (funciona como una metáfora). Las posibilidades más artísticas dentro de la composición musical alcanzarían estas posibilidades connotativas.

En cuanto a su aplicación, existen ejemplos consolidados del uso de la sonificación en contextos científicos. Dos buenos casos son la astrofísica y la medicina. La sonificación se ha aplicado con versatilidad y éxito en la historia de la astronomía, donde el sonido ha permitido medir grandes distancias y otros eventos astronómicos (Diaz-Merced et al., 2012). Por otra parte, se puede destacar la utilización que hace el contexto biomédico en la monitorización de variables fisiológicas (Sanderson et al., 2009; Mihalas et al., 2020). Todos los monitores de constantes vitales están asociados a un sonido, que se programa para variar en intensidad y frecuencia de aparición en correspondencia a alteraciones del ritmo cardíaco o respiratorio, posibilitando la rapidez del perceptor (en este caso los sanitarios), para detectar cambios importantes en la variación de una señal, compatibilizando además esa detección con la realización de otras tareas (Burdick et al., 2020). La idoneidad de estas técnicas encaja en la idea de

conexión del concepto de ritmo musical en los ritmos biológicos, resultando natural si se piensa cómo la gran parte de las variables fisiológicas vienen enmarcadas dentro de la ritmicidad, como ocurre de manera muy clara en los sistemas cardíaco y respiratorio. También los movimientos viscerales y la organización del sistema de coordinación músculo esquelético se instauran sobre un patrón rítmico. La función del caminar es eminentemente rítmica y de no ser así, serán aquellas las ocasiones donde se puedan observar problemas, como ocurre por ejemplo en la enfermedad de Parkinson.

No se tienen tan presentes, sin embargo, otros contextos donde la sonificación sí se elige como opción de tratamiento (para leer un estudio sobre las condiciones de la aplicación de técnicas sonificación para la rehabilitación motora en accidente cerebrovascular, consultar Raglio et al, 2021). En este sentido, el terapéutico, es ilustrado de manera llamativa en la gran cantidad de usos de sonificación aplicados a la optimización en condiciones de pérdida de las condiciones estándares de visión en nuestra especie. Más allá de las adaptaciones a partir del sonido en condiciones de ceguera, se destaca el caso de Neil Harbisson, quien acromatópsico de nacimiento, sólo ha sido capaz de relacionarse a través de la visión con el espectro de blancos, negros y grises. Harbisson y su equipo, ingeniaron un dispositivo que le traducía la información visual de las longitudes de onda de la luz a través de una cámara u ojo electrónico (Lautenschlaeger, 2018) a frecuencias o microtonos auditivos, permitiéndole así discriminar tonos de color a través de la identificación de diferentes matices en agudos o graves correspondientes a lo que denominamos notas musicales.

Otra opción de uso de la sonificación en contextos terapéuticos se sitúa en el interés de estudios preclínicos relacionados con el estudio de la voz como transmisora de información más allá de los lingüístico. El estudio de las características sonoras de vocalizaciones en animales no humanos, ha permitido hasta el momento explorar otros índices de emoción y motivación en estudios de investigación con roedores, importantes para el avance del conocimiento en enfermedades como el Parkinson (Krasko et al., 2021) o la depresión (Brudzynski, 2019).

Siguiendo con contextos clínicos y de tratamiento, llama la atención que en psicología el uso de esta técnica se presenta como minoritario y poco conocido. Por este motivo y por las posibilidades de la sonificación antes expuestas, este trabajo delimita los siguientes objetivos: uno, visibilizar que la sonificación puede ser un tipo de metodología valiosa para la psicología, en particular para áreas donde es desconocida y aún no ha sido desarrollada, empleando para ello las herramientas propias de la búsqueda bibliográfica. En segundo lugar, en las siguientes líneas se propondrá la difusión de la sonificación como herramienta que acerca la multisensorialidad al investigador dentro de la psicología, ofreciendo gran utilidad para los nuevos retos de análisis, así como alternativas metodológicas muy conectadas con multitud de campos aplicados en cuanto a investigación, pero también en intervención ante patologías y contextos de aprendizaje. En último lugar, este trabajo se plantea mostrar una alternativa descriptiva que rompe con la dominancia visual, aplicable al estudiante e investigador con problemas visuales. En concreto, este último objetivo se alcanzará con la ejemplificación de representación sonora de un conjunto de datos imprescindible en metodología: la curva normal. Para ello se empleará uno de los programas de sonificación de uso sencillo hacia el que cualquier investigador o docente se puede acercar con facilidad.

La hipótesis de partida se centra, por lo tanto, en entender que la sonificación es una herramienta poco empleada en psicología y relativamente reciente en esta, en contraste con el uso más extensivo que puede encontrar en otros campos científicos. Dentro de los usos desarrollados de esta técnica, se anticipa que se sitúe en aquellas áreas que conecten con la fisiología y con el estudio de la percepción en sus modalidades auditivas y sensoriomotoras.

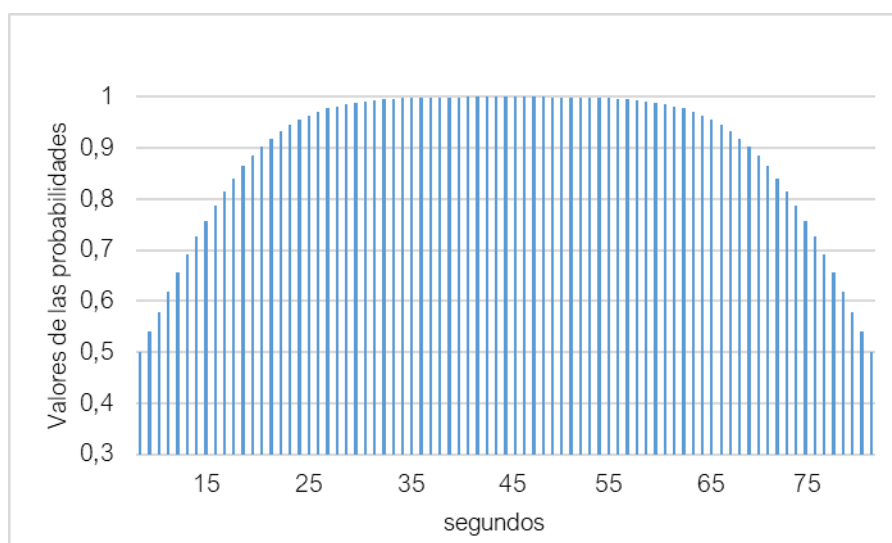
Método

Instrumentos

Para la realización de la gráfica sonora se empleó el software *TwoTone* (Cairo, 2022) para realizar la trasposición de valores numéricos en valores proporcionalmente ascendentes y descendentes en frecuencia sonora. Los valores de las puntuaciones que construyen la forma de una curva normal (ver figura 1) se tomaron de un rango de valores de probabilidades (de 0.5 a 0.99) de las tablas de puntuaciones de la curva normal estandarizada (valores consultados en Siegel, 2012).

Figura 1.

Representación gráfica del conjunto de valores que se pueden escuchar en los audios a lo largo del tiempo, traducidas a barras de valores ascendentes y descendentes de frecuencias (altura de sonido).



El programa generó una salida en forma de formato de audio, empleando sonidos MIDI (Musical Instrument Digital Interface), es decir, sonidos electrónicos que permiten elegir sonidos con cualidades similares a los timbres de diferentes instrumentos musicales.

Procedimiento

En un primer momento se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos Scopus, empleando la palabra clave “sonification” en “título, resumen y palabras clave”. En primer lugar, se realizó una búsqueda por todos los campos de conocimiento y circunscribiendo a “psychology” después. No se emplearon conectores dado que esta única palabra clave empleada generó un número manejable de artículos para ser examinados uno por uno. Además de Scopus, se realizaron otras búsquedas en otras dos bases de datos, Dialnet y sciELO, empleando la palabra clave “sonification” en la categoría de documentos. En estas últimas dos bases de datos, se realizó también una búsqueda con la palabra clave “sonificación” dado el contexto favorable de estas bases para encontrar más textos en español (consultar tabla 1 para seguir el proceso de búsqueda).

En cuanto a la gráfica sonora, se seleccionaron los valores de probabilidad de las tablas de la curva normal (Siegel, 2012), hasta conseguir la descripción que generara el dibujo simétrico de una distribución normal estándar (ver figura 1). Estos valores se transcribieron a una plantilla de Excel compatible con el

programa *TwoTone*, donde al subir el archivo excel se genera automáticamente una trasposición a frecuencias auditivas. Todos los audios son una representación de las mismas puntuaciones de una distribución normal estándar, todos se encuentran contruidos en Do mayor y se expresan en un rango de dos octavas (similar a los límites de rango de la voz humana). Cada pista se diferencia del resto solamente en variaciones en el timbre (carácter del instrumento sintetizado que ejecuta las notas) y de la utilización o no de arpeggios.

Resultados

Para realizar una comparativa descriptiva entre campos científicos, se realizó una búsqueda genérica en la base de datos Scopus con la única palabra clave “sonification” en la categoría “article title, abstract, keywords” sin excluir ningún campo de conocimiento (consultar tabla 1 para ver una síntesis del proceso y resultados de la búsqueda). Se obtuvieron 2242 resultados, desde el año 1964 hasta 2022. Se comprobó que la palabra “sonificación” en español no produjera más resultados, pero sólo se obtuvo un resultado que aparece también empleando “sonification”. En esta búsqueda general, se identificó el campo de ciencia de química, biología, bioquímica y genética (440 resultados) como el más prolífico dentro de la utilización de la sonificación. Después aparecieron artículos en las áreas de artes y humanidades (293), física y astronomía (221), ciencias del medio ambiente y agricultura (220), matemática y computación (203), energía y ciencias de los materiales (201), medicina (194), ciencias sociales (146), neurociencias (95), profesiones sanitarias (51), farmacología y toxicología (34), ciencias de la decisión (25), economía y finanzas (14) y veterinaria (11). Refinando la búsqueda para realizar una comparativa del volumen de trabajos en psicología, se limitaron los resultados al campo “psychology”, examinando también el campo “multidisciplinar” para rastrear artículos relacionados con la psicología que la búsqueda había categorizado como multidisciplinarios. Así, se encontraron 94 artículos en psicología cuyo rango de año de publicación comprendía desde el 2002 hasta la actualidad, el 2022.

Tabla 1.

Resumen del proceso de búsqueda bibliográfica en función de las bases de datos empleadas y el número de artículos encontrados por áreas.

BASES	PALABRAS CLAVE	ÁREAS	TRABAJOS
SciELO	sonification	total	6
		química y biología	2
		medio ambiente y agricultura	2
		energía y materiales	1
		neurociencias	1
		psicología	0
		Dialnet	sonification + sonificación
química y biología	3		
artes y humanidades	11		
matemática y computación	6		
física y astronomía	2		
energía y materiales	2		
neurociencias	2		
ciencias sociales	1		
psicología	9		

		<i>aprendizaje sensoriomotor</i>	2	
		<i>videojuegos</i>	1	
		<i>biofeedback</i>	1	
		<i>pérdida visual</i>	4	
		<i>escuela y educación</i>	1	
		total	2242	
Scopus	sonification	química y biología	440	
		artes y humanidades	293	
		física y astronomía	221	
		medio ambiente y agricultura	220	
		matemática y computación	203	
		energía y materiales	201	
		medicina	194	
		ciencias sociales	146	
		neurociencias	95	
		profesiones sanitarias	51	
		farmacología y toxicología	34	
		ciencias de la decisión	25	
		economía y finanzas	14	
		veterinaria	11	
			psicología	94
			<i>metodología específica</i>	17
			<i>aprendizaje sensoriomotor</i>	14
			<i>monitorización</i>	11
			<i>percepción</i>	13
			<i>vigilancia y navegación</i>	7
			<i>lectura y escritura</i>	6
			<i>virtualidad y videojuegos</i>	5
			<i>biofeedback</i>	5
	<i>rehabilitación motora</i>	4		
	<i>pérdida visual</i>	3		
	<i>creatividad y pensamiento</i>	3		
	<i>escuela y educación</i>	3		
	<i>colaboración interpersonal</i>	1		
	<i>dolor crónico</i>	1		
	<i>espectro autista</i>	1		

A continuación, se examinaron los 94 artículos circunscritos en el campo de la psicología para identificar las áreas concretas en las que se aplicaban las herramientas de sonificación. Ordenados de mayor a menor número de resultados se encontraron los números de artículos para las siguientes áreas: metodología específica de la sonificación (17 artículos), exploración de tareas sensorio-motoras y de aprendizaje motor (14), fundamentos de percepción sobre discriminación visual y auditiva (13),

monitorización de variables fisiológicas (11), ciberseguridad, vigilancia y navegación (7), lectura y escritura (6), mundo virtual y videojuegos (5), biofeedback (5), rehabilitación motora y accidentes cerebrovasculares (4), ceguera y adaptaciones en pérdida visual (3), creatividad y pensamiento (3), escuela y educación (3), colaboración interpersonal (1), dolor crónico (1) y espectro autista (1).

En cuanto a la base de datos Dialnet se obtuvieron un total de 36 documentos empleando la palabra clave “sonification”, pero también fueron incorporados aquellos que aparecieron al usar la palabra clave “sonificación” en español, ya que esta última palabra generó algunos trabajos que no se repetían en la búsqueda con la palabra clave en inglés. Los 36 artículos fueron examinados por su título y resumen, sin realizar exclusión por campo debido a su número. De estos, 27 documentos correspondieron de mayor a menor concentración de trabajos, a los campos de: arte y humanidades (11), matemáticas y computación (6), química y biología (3), física y astronomía (2), materiales (2), neurociencias (2) y ciencias sociales (1). Los 9 restantes se dedicaron a disciplinas afines a la psicología: adaptaciones en pérdida visual (4), aprendizaje sensoriomotor (2), videojuegos (1), biofeedback (1), escuela y educación (1).

En la base de datos sciELO la palabra clave “sonification” sólo arrojó seis resultados y ninguno de ellos correspondía al campo de la psicología. La palabra clave “sonificación” sólo generó dos resultados que ya se encontraban con “sonification”. De los seis resultados, dos correspondían al ámbito de la ingeniería, dos a agricultura, uno a ciencias de los materiales y uno a las neurociencias.

Respecto de la gráfica sonora de la curva normal, las pistas resultantes se pueden consultar en la tabla 2. Los tres audios están contruidos con un tempo de 61 pulsos por minuto y de izquierda a derecha visualmente (consultar figura 1) corresponden auditivamente con una ascensión en tonalidad hacia los agudos, representando la cola izquierda de la curva. En la parte central, la tonalidad se iguala hasta alcanzar una meseta de extensa duración que representa la mayoría de las puntuaciones situadas en la parte central de la curva, para luego descender rápidamente hacia tonalidades graves de nuevo mostrando así, la cola derecha.

Tabla 2.

Salidas de audio resultantes de ejemplificar de manera sonora la forma de la curva normal estandarizada, representada gráficamente en la figura 1.

	TIMBRE (MIDI)	ARPEGGIO	ENLACE
Audio 1	Vibráfono	No	https://ln5.sync.com/dl/905d3d160/8dzqp8h3-samzckgq-t5x5ikh4-zga3a7jy
Audio 2	Piano	No	https://ln5.sync.com/dl/c23b11de0/3kz67dqa-t6svb25y-ujpktdp-u4zb8qat
Audio 3	Piano	Ascendente	https://ln5.sync.com/dl/061cdaff0/v3bdbtk-kxte5qbm-ktxz65b5-f8haskzk

Nota. Los tres audios representan los mismos datos con una elección de timbre y arpegiación diferente.

En primer lugar, en el audio 1 es posible escuchar una pieza con timbre de vibráfono y tono sencillo. A continuación, en el audio 2 se ha escogido otro instrumento, el piano, para ejemplificar la posibilidad de elegir diferentes timbres para diferentes grupos de datos (Cusack y Roberts, 2000) al igual que se usan diferentes tonalidades de color en las líneas de las gráficas. El tercer audio se utiliza el mismo timbre de piano pero añadiendo una arpegiación sencilla para enriquecer el matiz musical resultante, matiz que en este caso resulta puramente estético para mostrar las posibilidades del programa empleado.

Discusión

La sonificación es una herramienta que ha tenido algún tipo de desarrollo en no pocos campos de conocimiento, a juzgar por el número de artículos que encontramos en diversas parcelas de lo científico. Esto puede tomarse como un índice de versatilidad, pero indiscutiblemente la búsqueda en la literatura refleja que su uso está mayoritariamente enmarcado en la ciencia de la computación, sistemas, biología, química y en general ciencias de la vida. En comparación, podemos denominar su uso como minoritario en la investigación en psicología, encontrando no obstante un número manejable de trabajos, donde encontramos una aplicación de la sonificación diversa dentro de los diferentes ámbitos psicológicos.

De entre los usos en psicología, las áreas que más resultados arrojan respecto del uso de la sonificación se dirigen al estudio de las capacidades de aprendizaje y rehabilitación motora, así como en tareas de carácter sensoriomotor (Tommasini et al., 2022; Oppici et al. 2020). Se destaca también la presencia de un interés sobre el mundo de los sistemas de vigilancia y alerta en el campo de la psicología de los sistemas atencionales, en particular de la atención sostenida. Este aspecto no es nuevo si consideramos la gran tradición del estudio de la atención selectiva y sostenida en el campo de la vigilancia y en el amplio empleo de tareas atentas auditivas, como la escucha dicótica, donde el objeto de la atención lo forman estímulos auditivos, encontrando ciertas ventajas de la modalidad auditiva en atención (Broadbent, 1958; Treisman, 1960).

También aparece en la búsqueda un tópico dentro del desarrollo de los sistemas de biofeedback, encontrando posibilidades en el tipo de sonificación más interactivo (Bergstrom et al., 2014). Además de herramienta de representación y análisis, la sonificación se puede utilizar como herramienta de intervención, al señalar y trabajar con la toma de conciencia, patrones de comportamiento, gestión de la atención, aprovechamiento del feedback para mejorar la ejecución en una tarea y evaluar el control y coordinación de las posibles respuestas (Van Kerrebroeck y Maes, 2021). Teniendo en cuenta que otro de los aspectos más investigados con la sonificación en todos los campos científicos se encuentra en la monitorización y seguimiento de variables fisiológicas, este interés en las metodologías de biofeedback se puede entender congruente.

El cuarto grupo de interés más visitado en la literatura sobre sonificación en psicología aúna varias temáticas dentro de la percepción, destacando aquellos trabajos que se apoyan en la sonificación como recurso fundamental dentro de la investigación en pérdida visual, con el objetivo de crear sistemas alternativos en el marco sonoro (Delogu et al., 2006). Esto podría poner un punto de partida para aplicaciones terapéuticas en el ámbito de la discapacidad, valor terapéutico que se suma a las potencialidades comentadas previamente sobre gestión de la relajación en situaciones estresantes y trastornos psicológicos (Van Kerrebroeck y Maes, 2021; Brudzynski, (2019). Más aspectos de horizontes terapéuticos a destacar, ahora sobre procesos de aprendizaje específicos como la percepción y producción del lenguaje, lo encontramos en el trabajo de Ecalte y colaboradores (2021). En él, emplean la sonificación para apoyar habilidades de lectura y escritura en niños de cinco años, observando un mejor desempeño en tareas de lectura y deletreo en el grupo que recibió entrenamiento de escritura acompañado con sonidos congruentes a los movimientos de la mano al realizar los trazos, respecto de otros dos grupos: uno que escuchó melodías incongruentes a los trazos y otro que no recibió estimulación sonora alguna (Ecalte et al., 2021).

En cuanto a la construcción de la curva normal en su versión sonora, el resultado es una escala de tonalidad ascendente y descendente, cuyo incremento resulta especialmente intenso al principio y al final de la pista, lo que corresponde directamente a la representación de ambas colas de la curva normal. La característica ubicación y mayor agrupación de datos de la parte central de la curva, se percibe como una duración idéntica de sonido de una misma frecuencia reiteradamente y de gran duración en la mitad de los audios. La semejanza subjetiva de estar escuchando una escala musical no es sorprendente

teniendo en cuenta que una escala del do al si, es una representación numérica progresiva de un aumento de frecuencia sonora, que va aumentando en Hz siguiendo un orden regular. Los paralelismos de la curva sonora con la visual resulta natural si consideramos la notación y teoría musical como otra forma de lenguaje matemático (Bigerelle e lost., 2000; Harkleroad, 2006).

Cabría destacar aquí que hay que distinguir entre dos posibilidades metodológicas diferenciadas en la sonificación. Primero, como se ha realizado en esta ejemplificación de la curva normal, el empleo de la sonificación como conjunto de herramientas de representación e incluso de análisis, aporta ventajas con datos muy extensos, como en astrofísica, o de carácter dinámico como ocurre en los campos del desempeño sensoriomotor. Segundo, la sonificación puede ser un elemento de diseño de procedimientos y tareas en torno a la señalización y el feedback, caracterizando no tanto la forma de analizar los datos, sino de diseñar una tarea determinada que pueda variar en función de la ejecución de los participantes.

En el plano más pedagógico, la sonificación como herramienta de traducción sencilla de curvas visuales a piezas auditivas, permitirá a cualquier docente tener una herramienta más para abordar sus explicaciones ante alumnado con necesidades específicas en cuanto a pérdida visual, o para profundizar en el aprendizaje de cualquier alumnado. El programa empleado en este trabajo, *TwoTone*, es un software muy sencillo, de fácil acceso y utilización, que puede servir para convertir una base de datos Excel sencilla en un flujo de notas musicales.

Por otra parte, las posibilidades de la sonificación serán muy adecuadas para ser aplicadas ante ciertas muestras de datos, pero no ante otras. Una de las desventajas que puede hacer que la sonificación sea sólo adecuada para cierto tipo de conjuntos de información, es la fugacidad a la hora de percibir y estudiar en la dimensión temporal, amortiguada no obstante por la ingente cantidad de tecnología dentro del mundo audiovisual que hoy día permite cierta permanencia y manipulación en cuanto a reproducción. Hay que destacar aquí el inmenso desarrollo y accesibilidad a equipos y dispositivos relativamente domésticos. Prueba de ellos son las opciones de software que se encuentran en la actualidad disponibles para la investigación en sonificación, uno de los cuales ha sido empleados en la ejemplificación de la gráfica sonora previa, que resultan de fácil acceso y manipulación (otras opciones de software se pueden consultar en Walker y Cothran, 2003).

Sin embargo, las herramientas de la sonificación poseen potencialidades para trabajar con datos más dinámicos conectados con aspectos temporales del comportamiento, como puede ser el restablecimiento del caminar rítmico del ser humano en trastornos de movimiento. En esta línea de ventajas, es posible mencionar con brevedad que el trabajo esencialmente espacial también puede ser trabajado a través del sonido. Las nuevas experiencias de sonido denominadas 8D trabajan con la localización espacial del sonido (Ziemer y Schultheis, 2019) teniendo en cuenta las diferentes coordenadas o direcciones por las que puede localizarse un sonido respecto del perceptor -arriba/abajo, derecha/izquierda, delante/detrás- añadiendo más posibilidades de representación empleando el aparataje de reproducción adecuado.

Conclusiones

Este trabajo defiende la de la sonificación como herramienta metodológica útil e innovadora dentro de varios campos de la psicología. Son de especial interés, como denotan los ejemplos en la literatura, el trabajo desde lo perceptual en todas sus modalidades, pero en particular desde las variables sensoriomotoras. Las ventajas abarcan la representación de grandes cantidades de datos, generando estrategias útiles de discriminación de datos disonantes a través de la lógica musical, poco factibles de

ser agrupados visualmente en una sola gráfica. Este uso es habitual en campos como la astrofísica y de gran potencialidad para la investigación biomédica y biológica.

La ejemplificación de una transformación de gráfica visual a auditiva empleando la forma de la curva gaussiana, solo es una muestra de las posibilidades de desarrollo de la sonificación de gran interés en el ámbito pedagógico, enriqueciendo el recurso multisensorial en la representación y descripción de datos. Esto abre un camino para estudiantes e investigadores no videntes, pero también para cualquier perceptor. Teniendo en cuenta las posibilidades descritas en estas líneas, en los próximos años será muy probable encontrar desarrollos en la dimensión musical dentro del método científico, aprovechando un momento de expansión y crecimiento de los softwares de creación y análisis auditivo de gran calidad y accesibles para dispositivos personales portátiles de uso habitual.

Conflicto de Intereses: Los autores no declaran ningún conflicto de intereses.

Aprobación Ética: No aplica.

Consentimiento Informado: No aplica.

Financiación: Esta investigación no ha recibido ninguna financiación externa.

Referencias

- Bergstrom, I., Seinfeld, S., Arroyo-Palacios, J., Slater, M. & Sanchez-Vives, M. V. (2014). Using Music as a Signal for Biofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 93(1), 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.04.013>
- Bigerelle, M. & Iost, A. (2000). Fractal dimension and classification of music. *Chaos Solitons Fractals*, 11 (14), 2179-2192.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Oxford University Press.
- Brudzynski, S. M. (2019). Emission of 22 kHz vocalizations in rats as an evolutionary equivalent of human crying: Relationship to depression. *Behavioural Brain Research*, 363, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.01.033>
- Buehler, M. (2020). Nanomechanical sonification of the 2019-nCoV coronavirus spike protein through a materiomusical approach. *ArXiv.org*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.14258>
- Burdick, K.J., Jorgensen, S.K., Combs, T.N., Holmberg, M.O., Kultgen, S.P. & Schlesinger, J.J. (2020) SAVIOR ICU: sonification and vibrotactile interface for the operating room and intensive care unit. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 34 (4), 787-796. <https://doi.org/10.1007/s10877-019-00381-1>
- Cairo, A. (08 de mayo de 2022). *Sonifying data with TwoTone*. <http://www.thefunctionalart.com/2019/03/sonifying-data-with-twotone.html>
- Cusack, R. & Roberts, B. (2000). Effects of differences in timbre on sequential grouping. *Perception & Psychophysics*, 62(5), 1112–1120. <https://doi.org/10.3758/BF03212092>
- Delogu, F., Belardinelli, M.O., Palmiero, M., Pasqualotto, E., Zhao, H., Plaisant, C. & Federici, S. (2006). Interactive sonification for blind people exploration of geo-referenced data: comparison between a keyboard exploration and a haptic-exploration interfaces. *Cognitive Processing*, 7, 178–179. <https://doi.org/10.1007/s10339-006-0137-8>
- Diaz-Merced, W. L., Candey, R. M., Brickhouse, N., Schneps, M., Mannone, J. C., Brewster, S., & Kolenberg, K. (2012). Sonification of astronomical data. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 7(S285), 133-136. <https://doi.org/10.1017/S1743921312000440>
- Ecalte, J., Boisson, A., Labat, H., Versace, R. & Magnan, A. (2021). Spatial sonification of letters on tablets to stimulate literacy skills and handwriting in 5 y-o children: A pilot study. *Human Movement Science*, 79, 102844. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102844>.
- Edwards, A., Hunt, A., Hines, G., Jackson, V., Podvoiskis, A., Roseblade, R., & Stammers, J. (9-15 de junio de 2010). *Sonification strategies for examination of biological cells*. 16th International Conference on Auditory Display (ICAD-2010), Georgia Institute of Technology. <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/50055/Edwardsetal2010.pdf?sequence=1>
- Harkleroad, L. (2006). *The math behind the music*. University Press.
- Lautenschlaeger, G. (2018). Absences within and surrounding light-to-sound translations. *Journal of Science and Technology of the Arts*, 10(3), 3-13. <https://doi.org/10.7559/citarj.v10i3.565>
- Kramer, G., Walker, B. N., Bonebright, T., Cook, P., Flowers, J., Miner, N., Neuhoff, J., Bargar, R. Barrass, S., Berger, J., Evreinov, G., Fitch, W.T., Gröhn, M., Handel, S., Kaper, H., Levkowitz, H., Lodha, S., Shinn-Cunningham, B., Simoni, M. & Tipei, S. (1999). *The Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*. Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display. NM: International Community for Auditory Display (ICAD).

- Krasko, M.N., Hoffmeister, J.D., Schaen-Heacock, N.E., Welsch, J.M., Kelm-Nelson, C. A. & Ciucci, M.R. (2021). Rat Models of Vocal Deficits in Parkinson's Disease. *Brain Sciences*, 11 (925), 249-269. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070925>
- Marshall, A. T., & Kirkpatrick, K. (2015). Everywhere and everything: The power and ubiquity of time. *International Journal of Comparative Psychology*, 28, 26072.
- Mihalas G.I., Andor, M. & Tudor, A. (2020). Adding sound to medical data. *Studies in Health Technology and Informatics*, 273, 38 – 53. <https://doi.org/10.3233/SHTI200614>
- Neuhoff, J. G. (2011). Perception, Cognition and Action in Auditory Displays en T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (63-83). Logos Publishing House.
- Oppici, L., Frith, E. & Rudd, J. (2020). A Perspective on Implementing Movement Sonification to Influence Movement (and Eventually Cognitive) Creativity. *Frontiers in Psychology*, 11, 2233. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02233>
- Raglio, A., Panigazzi, M., Colombo, R., Tramontano, M., Iosa, M., Mastrogiacomo, S., Baiardi, P., Molteni, D., Baldissarro, E., Imbriani, C., Imarisio, C., Eretti, L., Hamedani, M., Pistarini, C., Imbriani, M., Mancardi, G. L., & Caltagirone, C. (2021). Hand rehabilitation with sonification techniques in the subacute stage of stroke. *Scientific Reports*, 11(1), 7237. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86627-y>
- Sanderson, P.M., Liu, D. & Jenkins, S.A. (2009). Auditory displays in anesthesiology. *Current Opinion in Anaesthesiology*, 22 (6), 788-795. <https://doi.org/10.1097/ACO.0b013e3283326a2f>
- Siegel, A. (2012). Random Variables: Working with Uncertain Numbers en A. Siegel, *Practical Business Statistics* (Sixth Edition, 155-186). Academic Press.
- Tommasini, F.C., Evin, D.A., Bermejo, F., Hüg, M. X., Barrios, V. & Pampaluna, A. (2022) Recurrence analysis of sensorimotor trajectories in a minimalist perceptual task using sonification. *Cognitive Processing*, 23, 285–298. <https://doi.org/10.1007/s10339-021-01068-9>
- Treisman, A. M. (1960) Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(4), 242-248. <https://doi.org/10.1080/17470216008416732>
- Van Kerrebroeck, B. & Maes, P.J. (2021). A breathing sonification system to reduce stress during the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.623110>
- Walker, B. N. & Cothran, J.T. (2003). Sonification sandbox: a graphical toolkit for auditory graphs. *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display*.
- Walker, B., N. & Nees, M. A. (2011). Theory of Sonification en T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (9-34). Logos Publishing House.
- Yu, C. H., Qin, Z., Martin-Martinez, F. J. & Buehler, M.J. (2019). A self-consistent sonification method to translate amino acid sequences into musical compositions and application in protein design using AI. *ACS Nano*. 13(7), 7471–7482. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b02180>
- Ziemer, T. & Schultheis, H. (2019). Psychoacoustic auditory display for navigation: an auditory assistance system for spatial orientation tasks. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 13 (3), 205-218. <https://doi.org/10.1007/s12193-018-0282-2>