

Sonicación de datos efectiva mediante mapeo de parámetros: un análisis exhaustivo 1.

Introducción: Definición de sonicación de datos y mapeo de parámetros

La sonicación de datos representa una alternativa y un complemento convincente a las técnicas tradicionales de visualización de datos, ofreciendo una vía única para interpretar y analizar conjuntos de datos complejos a través del sentido auditivo. ¹ En esencia, la sonicación de datos es el proceso de transformar relaciones de datos en relaciones percibidas dentro de una señal acústica, con el objetivo principal de facilitar la comunicación y la interpretación. La transformación es idealmente sistemática, objetiva y ² Este reproducible, lo que garantiza que los sonidos resultantes reflejen con precisión los datos subyacentes. Gracias a las capacidades innatas del sistema auditivo para detectar patrones sutiles y ³ Aprovechando el potencial humano cambios a lo largo del tiempo, la sonicación puede revelar información que podría pasarse por alto en las representaciones visuales. ¹

Las aplicaciones de la sonicación son diversas y van desde proporcionar alertas auditivas y monitorear el estado de los sistemas hasta permitir la exploración en profundidad de conjuntos de datos complejos. ⁴

Entre las diversas metodologías empleadas en la sonicación de datos, el mapeo de parámetros se destaca como la técnica más ampliamente adoptada: la traducción de valores de datos a ² Este método implica la directa diferentes características del sonido, como el tono, Volumen, duración, tempo y timbre, ya sean numéricos ⁹ En esencia, las variables dentro de un conjunto de datos, o categóricos, se asignan a parámetros sonoros específicos para transmitir las tendencias inherentes y la naturaleza de los datos en formato audible. ⁹ La relación establecida mediante el mapeo de parámetros puede ser analógica, donde la característica del sonido refleja directamente el atributo de los datos, o simbólica, donde la relación es más abstracta. La sonicación efectiva de datos mediante el mapeo de parámetros se centra en el uso estratégico de tono, frecuencia, volumen, panorama ¹⁰ Este informe profundizará en las complejidades de lograr estéreo, trémolo, paso bajo, paso alto, duración de nota y espacio entre notas. Al examinar cómo estos parámetros de audio específicos pueden emplearse para representar diversas facetas de los datos, analizar proyectos de sonicación exitosos y analizar las mejores prácticas cruciales y las consideraciones perceptuales, este informe busca proporcionar una comprensión integral de cómo crear visualizaciones auditivas impactantes e informativas.

2. El papel del tono y la frecuencia en la sonicación de datos

El tono y la frecuencia son parámetros de audio fundamentales que se emplean con frecuencia en la sonicación de datos para representar datos numéricos. ⁹ Normalmente se establece una relación directa.

Donde los valores de datos más altos se asignan a tonos o frecuencias más agudos, y, a la inversa, los valores más bajos corresponden a tonos o frecuencias más graves. Este ⁹ Esta intuitiva mapeo se alinea con las experiencias auditivas comunes, donde, por ejemplo, los sonidos más agudos suelen asociarse con fenómenos más pequeños o más energéticos. De hecho, las investigaciones indican que el tono es la dimensión auditiva más utilizada en aplicaciones de sonicación, probablemente debido a su capacidad inherente para ², lo que sugiere su papel fundamental en el campo. Esta prevalencia representa la magnitud de forma fácil de comprender y a la notable sensibilidad del oído humano a las variaciones de frecuencia.

17

La versatilidad del tono y la frecuencia les permite representar diversos aspectos de los datos. El proyecto "Listen to Wikipedia" ofrece un ejemplo convincente donde el tamaño de una edición realizada en una página de Wikipedia se asigna al tono de un sonido, con ediciones más grandes que resultan en notas más graves (de tono más bajo). Se codifican utilizando diferentes ⁹ Además, el tipo de edición también es timbres, con adiciones representadas por el sonido de campanas (generalmente de tono más agudo), sustracciones por punteos de cuerdas y la llegada de nuevos usuarios por ondulaciones de cuerdas. Los valores, que ⁹ En ciencias de la tierra, el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) indican la salud de la vegetación, se han asignado eficazmente al tono para ilustrar los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo. Se rastrea la dinámica ¹⁸ Esto permite a los investigadores hablar en voz alta. de la vida vegetal. El campo de la astronomía también utiliza ampliamente el tono para representar diversos parámetros de los objetos celestes, como el brillo, el color y la temperatura. Por ejemplo, la sonicación orbitales reales ¹⁷ del sistema de exoplanetas TRAPPIST-1 utiliza ingeniosamente las frecuencias de los planetas, ajustadas al rango auditivo humano, para crear una experiencia auditiva verdaderamente representativa. En el ámbito de las finanzas, los datos históricos de los precios de las acciones ¹⁷ Similarmente, se han sonorizado asignando el valor de las acciones a la frecuencia de un tono, lo que permite a los oyentes percibir tendencias y fluctuaciones a través de cambios en el tono.

¹⁹ Estos ejemplos subrayan la adaptabilidad del tono para representar un amplio espectro de datos, desde mediciones cuantitativas hasta eventos categóricos, modulando su altura percibida.

Al emplear el tono y la frecuencia en la sonicación de datos, es crucial considerar las complejidades de la percepción auditiva humana. El sistema auditivo humano muestra una mayor sensibilidad a los cambios de frecuencia que a los de volumen.

17

Psicoacústicamente, una proporción constante de frecuencias tiende a percibirse como un intervalo musical constante. La frecuencia,²⁰ Sin embargo, la capacidad de discernir cambios minúsculos en conocida como diferencia apenas perceptible (DAP), no es uniforme en todo el espectro audible y varía según la frecuencia base. El uso efectivo del tono requiere una comprensión profunda de ²⁰ Por lo tanto, estas propiedades psicoacústicas de la percepción de frecuencia. Este conocimiento garantiza que...

La correlación entre las variaciones de datos y los cambios de tono es significativa y fácilmente discernible para el oyente, lo que evita la pérdida de información o la creación de eventos auditivos demasiado similares para distinguirlos. Un escalado cuidadoso de los datos al rango de frecuencia es esencial para optimizar el impacto perceptual de la sonicación.

3. Mapeo de volumen para la magnitud de los datos

El volumen, también conocido como sonoridad, desempeña un papel fundamental en la sonicación de datos al representar directamente su magnitud o intensidad. Aumentar el ⁹ El principio intuitivo de volumen de un sonido cuando un valor de datos correspondiente es más frecuente o intenso constituye la piedra angular de un mapeo de volumen efectivo. Los oyentes ⁹ Esta correlación directa permite pueden comprender fácilmente la fuerza o la importancia de un punto o tendencia de datos en particular a través de la intensidad percibida del sonido. Se pueden emplear unidades estandarizadas como los niveles de sonoridad relativos a la escala completa (LUFS) para transmitir con precisión los valores de los datos de forma proporcional a través de las variaciones de sonoridad.²¹

Las estrategias eficaces para mapear datos a volumen involucran varias consideraciones clave. Los valores de datos a menudo deben normalizarse a un rango específico antes de asignarse a un rango de sonoridad definido. Por ejemplo, en el sistema Susurrus, los valores de datos se normalizan y luego se asignan linealmente a un rango LUFS que abarca desde -23 LUFS (el más bajo, que representa el valor mínimo de los datos) hasta -11 LUFS (el más alto, que representa el... Valor máximo de datos). ²¹ Este proceso de normalización y mapeo garantiza que la Todo el rango dinámico de los datos se representa eficazmente dentro de un espectro de sonoridad perceptualmente significativo. Además, es crucial considerar las curvas de sonoridad equivalente, también conocidas como curvas de Fletcher-Munson, que ilustran cómo la sonoridad percibida de un sonido se ve influenciada no solo por su intensidad física, sino también por su distribución de frecuencia. ²¹ Los sonidos con diferentes características de frecuencia pueden Requieren diferentes ajustes en su nivel digital para lograr la misma sonoridad percibida. Sistemas como Susurrus incorporan algoritmos que imitan estas curvas de sonoridad equivalente para garantizar que la sonoridad percibida refleje con precisión la representación de datos deseada, independientemente del sonido específico utilizado. Por lo tanto, el control preciso²¹ El que ofrecen unidades estandarizadas como LUFS, junto con la comprensión de los factores perceptuales, es esencial para crear representaciones precisas e interpretables de la magnitud de los datos a través del volumen.

Varios ejemplos convincentes ilustran el uso eficaz del mapeo de volumen en la sonicación de datos. El icónico contador Geiger utiliza la frecuencia de los clics para indicar la detección de radiación ionizante, y la intensidad de estos clics también puede indicar, implícita o explícitamente, la intensidad de la radiación. Esto significa un mayor nivel de ⁴ Una mayor frecuencia de clics más fuertes radiación. En el ejemplo de los datos de flujo de CO₂, los valores positivos...

que representan el flujo neto de CO₂ del océano a la atmósfera, se mapean para controlar la amplitud (volumen) del ruido blanco.

¹⁴ Los valores positivos más altos resultan en un ruido blanco más intenso, lo que indica un mayor flujo. Otra aplicación interesante se encuentra en el proyecto de sonicación "Sistema Terrestre", donde la relación océano-tierra a lo largo de las líneas de longitud se mapea a la frecuencia de corte de un filtro de paso bajo. Dado que el mapeo es a la ²⁴ Mientras que la primaria frecuencia, el sonido resultante para una alta fracción de agua se describe como "más brillante", lo que a menudo implica la presencia de mayor contenido de alta frecuencia y, potencialmente, una mayor sonoridad percibida general en comparación con el sonido "más apagado" asociado con una alta fracción de tierra. Estos ejemplos demuestran la versatilidad del mapeo de volumen para transmitir la intensidad de diversos fenómenos, ya sea como parámetro principal o en conjunto con otras señales auditivas.

4. Utilización de la panorámica estéreo para la representación de datos espaciales

La panorámica estéreo, o simplemente paneo, es un potente parámetro de audio que posiciona el sonido dentro del campo estéreo, desde el altavoz o auricular izquierdo hasta el derecho. En el contexto de la sonicación de datos, la panorámica estéreo sirve como una herramienta eficaz para indicar relaciones espaciales o distinguir entre diferentes conjuntos de datos. Aprovecha la Diferencia de Tiempo ⁹ Esta técnica Interaural (DTI), una sutil diferencia en el tiempo que tarda un sonido en llegar a cada oído, para crear la percepción de un sonido que se origina en una ubicación lateral específica. La relación entre las dimensiones de los datos y la ubicación espacial²⁹ La capacidad de la panorámica estéreo para mapear directamente el espacio percibida del sonido la convierte en una opción intuitiva para representar información geográfica o espacial abstracta.

Las aplicaciones del paneo estéreo en la sonicación de datos son diversas. Los efectos estéreo permiten transmitir la ubicación de componentes individuales dentro de un conjunto de datos, lo que ayuda a los oyentes a distinguir grupos. En la sonicación de puntos de ²⁹ Por ejemplo, en un datos geográficos, cada punto puede representarse mediante un sonido procedente de una ubicación en el campo estéreo correspondiente a sus coordenadas geográficas. El paneo estéreo también es muy eficaz para separar perceptualmente flujos auditivos que se reproducen simultáneamente, como múltiples series de datos en una sola sonicación.

¹⁹ Una estrategia común consiste en desplazar una serie de datos completamente a la izquierda y otra completamente a la derecha, creando una clara distinción espacial que permite a los oyentes centrarse en cada flujo de forma ¹⁹ La herramienta iSonic, diseñada para el análisis de datos geoespaciales, independiente. Utiliza explícitamente la panorámica estéreo para proporcionar un contexto espacial a usuarios con discapacidad visual o ciegos mientras exploran ²⁵ A medida que un usuario navega por el mapa, los datos del mapa. El sonido que representa un punto de datos se desplaza a la izquierda o a la derecha según su ubicación, ofreciendo una sensación auditiva de su posición. Un ejemplo convincente del uso de la panorámica estéreo para representar el movimiento se puede encontrar en la sonicación de un eclipse solar total, donde la trayectoria de la totalidad a medida que se movía de oeste a este se podía oír.

Representado por un sonido que se desplaza progresivamente de izquierda a derecha en los auriculares del oyente. Trayectoria.³¹ Esto crea un análogo auditivo intuitivo del eclipse.

Estos ejemplos resaltan la versatilidad del desplazamiento estéreo al representar tanto la ubicación estática de los puntos de datos como el movimiento dinámico de los fenómenos dentro de un conjunto de datos.

Si bien la panoramización estéreo es una técnica valiosa, se deben considerar ciertas consideraciones perceptuales para su uso efectivo en la sonicación de datos. Las investigaciones sugieren que basarse únicamente en la separación espacial mediante la panoramización podría no ser siempre suficiente para que los oyentes diferencien completamente entre múltiples flujos auditivos, y combinarla con otras señales auditivas, como diferencias de timbre o tono, puede mejorar la claridad. La compatibilidad de una mezcla,¹⁹ En el contexto de la mezcla de música, es una práctica recomendada crucial verificar el mono ya que los elementos panoramizados completamente a la izquierda o a la derecha podrían desaparecer o verse significativamente alterados al reproducirse en³³ Esta consideración podría mono, también puede ser relevante en la sonicación de datos, especialmente cuando se busca la accesibilidad en diferentes entornos de escucha. Por lo tanto, si bien la panoramización estéreo ofrece una forma directa e intuitiva de representar información espacial o separar flujos de datos, su implementación debe considerarse cuidadosamente junto con otros parámetros auditivos para garantizar la claridad y la robustez en diversos escenarios de reproducción.

5. Codificación de información mediante trémolo

El trémolo es un efecto de audio que se caracteriza por la variación periódica de la amplitud de un sonido, lo que resulta en un efecto pulsante o vibrante. Esta modulación de volumen se logra típicamente mediante un oscilador de baja frecuencia (LFO). La oscilación y su³⁴ La velocidad o ritmo de este intensidad o profundidad son parámetros clave que se pueden ajustar para crear diferentes características de trémolo. Esto representa una posible vía³⁴ En el ámbito de la sonicación de datos, el trémolo presenta para codificar capas adicionales de información o crear texturas auditivas interesantes que reflejen atributos específicos de los datos. La gramática declarativa para la sonicación⁹ Por ejemplo, el Erie de datos permite especificar un índice de modulación, que podría utilizarse para controlar los parámetros de un efecto de trémolo.

23

La naturaleza fluctuante del trémolo podría relacionarse con datos que exhiben variabilidad o incertidumbre.

Sin embargo, una revisión del material de investigación proporcionado revela un número limitado de ejemplos explícitos que detallan el uso del trémolo para codificar datos específicos en proyectos de sonicación. Aunque se³ Si bien el material cubre ampliamente otros parámetros como refiere a la afinación, el volumen y la panoramización, el trémolo no se destaca con frecuencia como método principal para la codificación de datos. Un fragmento menciona la "pulsación" como una forma de modulación de frecuencia, que es distinta de la modulación de amplitud del trémolo.⁴² Esta relativa falta de

El uso documentado podría sugerir que el trémolo se emplea con menos frecuencia para la representación directa de datos en comparación con otros parámetros, o que el foco de investigación en el material proporcionado se centra más en estas otras técnicas.

A pesar de la escasez de ejemplos explícitos, se pueden vislumbrar varias aplicaciones potenciales del trémolo en la sonicación de datos. La velocidad del efecto del trémolo, o la rapidez con la que oscila el volumen, podría correlacionarse con la frecuencia de los eventos que ocurren en un conjunto de datos. Un trémolo más rápido podría indicar una mayor frecuencia de ocurrencias, mientras que uno más lento podría representar eventos menos frecuentes. De igual manera, la profundidad o intensidad del trémolo, que determina el rango de fluctuación del volumen, podría utilizarse para indicar el grado de incertidumbre o volatilidad asociado a un punto de datos en particular. Un trémolo más profundo podría indicar una mayor incertidumbre o fluctuaciones más pronunciadas en los datos.

Además, el trémolo podría emplearse estratégicamente para añadir un sentido de urgencia o inestabilidad a la sonicación de valores críticos de datos, atrayendo la atención del oyente hacia cambios o anomalías importantes. Para aprovechar al máximo el potencial del trémolo para la codificación efectiva de datos, se justifica la investigación y la experimentación adicionales para explorar su impacto perceptual y determinar estrategias óptimas de mapeo para diversos tipos de datos y contextos.

6. Aplicación de filtros paso bajo y paso alto en sonicación

Los filtros de paso bajo y paso alto son herramientas de procesamiento de audio que atenúan selectivamente ciertos rangos de frecuencia de un sonido. Un filtro de paso bajo permite el paso de frecuencias por debajo de un punto de corte específico, a la vez que reduce la amplitud de las frecuencias por encima, lo que resulta en un sonido que a menudo se describe como "más apagado" o "mudo". Por el contrario, un filtro de paso alto permite el paso de frecuencias superiores a su punto de corte, a la vez que atenúa las frecuencias más bajas, lo que produce un sonido más fino o elimina el ruido sordo de baja frecuencia. Son ⁹ En el contexto de la sonicación de datos, estos filtros sirven como herramientas valiosas para moldear la textura sonora y dirigir la atención del oyente a aspectos específicos de los datos que podrían estar representados por diferentes rangos de frecuencia. Ayudan ⁴³ Al enfatizar o eliminar selectivamente los componentes de frecuencia, los filtros pueden a aislar señales relacionadas con características particulares de los datos.

Varios proyectos ilustran la aplicación práctica de los filtros de paso bajo y paso alto en la sonicación de datos. En la sonicación del "Sistema Tierra", la relación océano-tierra a lo largo de las líneas de longitud se asigna a la frecuencia de corte de un filtro de paso bajo. La fracción de agua resulta ²⁴ Un nivel superior en una frecuencia de corte más alta, permitiendo el paso de más contenido de alta frecuencia, creando un sonido más brillante. Por el contrario, una fracción de tierra más alta resulta en una frecuencia de corte más baja, atenuando las frecuencias más altas y produciendo un sonido más apagado. Esta asignación directa de un valor de datos a un parámetro del filtro...

Transmite eficazmente los datos mediante cambios en la textura sónica. Otro ejemplo convincente es la audición de las mareas venecianas. Contenía tanto el ciclo de mareas diario ⁴⁴ La señal auditada sin procesar como un ciclo lunar de baja frecuencia, lo que dificultaba su discernimiento. Al aplicar un filtro de paso bajo (para eliminar el contenido de alta frecuencia por encima de 200 Hz) y un filtro de paso alto (para eliminar frecuencias muy bajas por debajo de 40 Hz), los investigadores lograron aislar el rango de frecuencia asociado con el ciclo lunar, haciéndolo más audible e interpretable. Además, el kit de herramientas Listen para sonicación de datos permite a los usuarios implementar filtros de paso alto, paso bajo o booleanos en sus proyectos de sonicación, lo que ofrece flexibilidad para configurar la representación auditiva de los datos. Se utiliza en la sonicación de datos de dos maneras principales: asignando directamente los valores de los datos a parámetros del filtro, como la frecuencia de corte, o ⁵² Estos ejemplos demuestran que los filtros pueden ser aplicándolos como paso de posprocesamiento para aislar o enfatizar componentes sónicos específicos relacionados con los datos dentro de una señal auditiva más compleja.

Al aplicar filtros paso bajo y paso alto en la sonicación de datos, es fundamental considerar los matices de la percepción auditiva humana. El oído humano presenta sensibilidades variables en diferentes rangos de frecuencia, y la frecuencia de corte específica tendrá un ¹⁷ Por lo tanto, la elección del tipo de filtro impacto significativo en el sonido percibido y, en consecuencia, en la interpretación de los datos por parte del oyente. La selección y aplicación cuidadosas de los filtros, fundamentadas en la comprensión de las características de los datos y los principios de la percepción auditiva, son cruciales para resaltar eficazmente las características relevantes de los datos sin oscurecer ni distorsionar inadvertidamente información importante. Aplicar filtros sin considerar su impacto en la representación sonora general podría provocar una interpretación errónea de los datos sonicados.

7. Representación de la temporalidad y el ritmo con la duración y el intervalo de notas

La duración de la nota, el tiempo que persiste un sonido, y el espacio entre notas, el período de silencio entre sonidos consecutivos, son parámetros de audio fundamentales que pueden emplearse de manera efectiva en la sonicación de datos para representar la temporalidad y el ritmo. Los parámetros ⁸ Estos proporcionan un medio directo para traducir los aspectos temporales de los datos en patrones audibles, lo que permite a los oyentes percibir cambios y tendencias que se desarrollan a lo largo del tiempo. Los eventos son ¹ Tempo, que abarca el ritmo general y la cadencia de la audición. otro parámetro de audio estrechamente relacionado que contribuye a la representación de la temporalidad. ⁹

Se pueden utilizar diversas estrategias de mapeo para vincular la duración y el intervalo de una nota con datos temporales. La duración de una nota podría mapearse con la vida útil o la duración de una

Evento específico dentro del conjunto de datos. Por ejemplo, una nota más larga podría representar un evento de mayor duración, mientras que una nota más corta podría indicar una ocurrencia transitoria. El intervalo entre notas puede representar efectivamente el intervalo de tiempo entre eventos sucesivos o la frecuencia de su ocurrencia. Un intervalo entre notas más corto implicaría una mayor frecuencia de eventos, lo que indica cambios rápidos o una densa concentración de puntos de datos en el tiempo, mientras que un intervalo más largo sugeriría eventos menos frecuentes o períodos de inactividad. El tempo, la velocidad general de la sonicación, puede mapearse a la tasa de cambio observada en los datos. Un tempo más rápido podría representar un período de fluctuaciones rápidas o una tendencia pronunciada, mientras que un tempo más lento podría corresponder a cambios más graduales o un período estable. La estrategia de mapeo específico elegida debe estar cuidadosamente alineada con las características temporales inherentes de los datos que se representan para asegurar una interpretación auditiva intuitiva y precisa.

Varios ejemplos convincentes ilustran el uso de la duración y el intervalo de notas para transmitir información temporal mediante sonicación. La sonicación de terremotos en Oklahoma utilizó eficazmente el intervalo de notas para representar la frecuencia de eventos sísmicos a lo largo del tiempo. En ⁵³ Se tocó una nota por cada terremoto registrado y, al comprimirla,

el marco temporal de los datos, el aumento de la frecuencia de terremotos en años posteriores se percibía claramente a través de los intervalos decrecientes entre las notas. El proyecto de podcast "End of the Road", que sonizó el declive de las poblaciones de insectos, utilizó tanto la duración como el intervalo de notas para transmitir las tendencias⁸ Los recuentos mensuales de insectos fueron

temporales, representadas por la duración de los tonos de sintetizador, mientras que la progresión de los años se marcó con un sombrío repique de campana, utilizando eficazmente el intervalo entre estos marcadores anuales para proporcionar un contexto temporal más amplio. El ejemplo clásico del contador Geiger también se basa en el intervalo de notas para

⁴ Una brecha más corta
representar el nivel de radiación. La distancia entre los clics característicos indica un mayor nivel de radiación. Estos ejemplos subrayan la efectividad de utilizar la sincronización de eventos auditivos, a través de variaciones en la duración de las notas y el silencio entre ellas, para comunicar

tendencias temporales, patrones de frecuencia y la duración de ocurrencias específicas dentro de un conjunto de datos.

8. Estudios de casos de proyectos exitosos de sonicación de datos

Numerosos proyectos de sonicación de datos han empleado con éxito los parámetros de audio analizados en este informe para transmitir información significativa. El análisis de estos proyectos y sus estrategias de mapeo proporciona información valiosa sobre las mejores prácticas.

Un ejemplo notable es el proyecto "Escucha Wikipedia". El tamaño de las ⁹ Esta sonicación mapea el ediciones realizadas en las páginas de Wikipedia se ajusta al tono de un sonido, y las ediciones más grandes resultan en tonos más bajos. El tipo de edición se representa por el timbre: las adiciones son

Las campanas, las sustracciones son punteos de cuerdas, y las nuevas entradas de usuario son crescendo de cuerdas. Este proyecto utiliza eficazmente el tono y el timbre para representar datos cuantitativos (tamaño de la edición) y categóricos (tipo de edición).

El proyecto "Escucha los datos climáticos convertidos en música" y el ⁹ demuestra el uso del tono volumen. Los valores de concentración de CO₂ se asignan a la altura de un tono continuo, mientras que los valores de temperatura promedio se asignan tanto a la altura como a la intensidad (volumen) de los sonidos de cuerdas pulsadas. Esto ilustra cómo se pueden usar múltiples parámetros para representar diferentes aspectos de un conjunto de datos relacionado.

Varios proyectos se centran en datos geocientíficos. La sonicación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) asigna los valores del NDVI a tono, volumen y timbre mediante acordes MIDI y niveles de velocidad. Esto permite la representación auditiva de los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo. De igual forma, la sonicación "Franjas de Calentamiento" ¹⁸ representa las tendencias de temperatura a lo largo del tiempo, probablemente utilizando el tono para indicar años más cálidos (tono más agudo) y más fríos (tono más grave). La Iniciativa de Observatorios Oceánicos (OOI) ha producido sonicaciones de diversos eventos oceanográficos, ¹⁴, incluida la erupción del como el flujo axial de montes submarinos y el flujo de CO₂. Estos proyectos utilizan diversos parámetros, como el tono, el volumen, el timbre y la panorámica estéreo (mapeo del flujo de CO₂ positivo y negativo a los canales izquierdo y derecho, respectivamente, con la amplitud y la frecuencia también vinculadas a los datos).

En astronomía, el Centro de Rayos X Chandra ha desarrollado numerosos proyectos de sonicación. Desde la ¹⁷ Estos proyectos a menudo mapean parámetros como brillo, color y temperatura de los objetos celestes hasta propiedades audibles como el tono, el volumen, el timbre y la duración, cabe destacar la sonicación del sistema de exoplanetas TRAPPIST-1 y del agujero negro del cúmulo de galaxias de Perseo, que utiliza directamente frecuencias orbitales escaladas para crear sonido dentro del rango audible humano.

La sonicación de terremotos de Oklahoma ⁵³ utiliza eficazmente el intervalo entre notas para representar la frecuencia de los terremotos a lo largo del tiempo. Cada terremoto activa una nota, y la línea de tiempo comprimida resalta la frecuencia creciente de los eventos mediante intervalos más cortos entre las notas.

El podcast Loud Numbers presenta varios proyectos de sonicación: sonicación de sucesos ⁸, incluido el de vida silvestre usando íconos auditivos y la disminución de poblaciones de insectos, donde los conteos mensuales están representados por duraciones de tonos de sintetizador y los marcadores anuales por toques de campanas (espacio entre notas).

El proyecto Rapsodias de Rubin

¹³ Explora el mapeo de las características de los datos del dominio temporal del LSST

a varios parámetros de sonido como tono, volumen y timbre.

Frecuencia de sonicación del sistema²⁴ Mapas que representan la relación entre el océano y la tierra para el corte terrestre de un filtro de paso bajo, que demuestra el uso de filtros como parámetro de mapeo principal.

Finalmente, la audición 51 de Venetian Tides muestra el uso de filtros de paso bajo y paso alto como técnica de posprocesamiento para aislar la frecuencia del ciclo lunar del ciclo de mareas diario dentro de un conjunto de datos auditados.

La siguiente tabla resume las estrategias de mapeo de algunos de estos proyectos exitosos de sonicación de datos:

Proyecto	Datos Represión nted	Tono/Fr equenc y	Volumen/ Intensidad y	Estéreo Cacerola	Timbre	Nota Duración n/ Gap	Filtros
Escuchar Wikipedia a	Wikipedia: una edición de tamaño y tipo. nuevo usuarios	Editar tamaño para ajustar el tono			Campanas, punteos, oleadas		
Escuchar Clima Datos	CO2 concentración, tem ley	CO2 a tono, temperatura temple	Temperatura a intensidad		Cuerdas pulsadas		
Sonicación	Normaliz ed Animales Este Índice de vegetación	Asignado al tono	Asignado a volumen		MIDI Acordes		
Calentamiento Rayas	Tendencias de temperatura encima tiempo	Probablemente	asignado al tono		Tono		

CO2 OOI Flujo	CO2 neto entre océano y atmósfera también		Amplitud de ruido blanco y	Derecha/ Izquierda Canal	Baja frecuencia oscilador de frecuencia o		
TRAPPIS T-1 Exoplan y Sistema	frecuencias orbitales	Frecuencias orbitales escaladas			Tono		
Oklahoma a Terremotos	Número de terremotos encima tiempo				Nota	La brecha representa el tiempo	
Insecto Poblado en Rechazar (Alto Número s)	Recuentos mensuales de insectos, marcadores anuales	Tonos de sintetizador			Tonos de sintetizador, Campana	Duración de los conteos, intervalo para años	
Tierra Sistema	Relación de del océano a la tierra	Cortar frecuente de			Acorde	Acorde sostenido	Filtro de paso bajo cortar
veneciano Mareas	Datos de mareas (ciclos diarios y lunares)	Señal audible			Onda para metro		Paso bajo , Paso alto s

Esta tabla proporciona una instantánea de las diversas y creativas formas en que los parámetros de audio se asignan a los datos en proyectos de sonicación exitosos, destacando la importancia de las estrategias de mapeo reflexivas y conscientes del contexto.

9. Mejores prácticas y consideraciones perceptivas para una aplicación eficaz Sonicación

La creación de sonicaciones de datos efectivas requiere una combinación cuidadosa de comprensión de la datos, la tarea en cuestión y los principios de la percepción auditiva humana. Varios de los mejores Las prácticas deben guiar el proceso de diseño. En primer lugar, un análisis exhaustivo de los datos Las características, incluido su tipo, rango y distribución, son esenciales antes de cualquier Se intenta realizar un mapeo.¹⁵ En segundo lugar, el objetivo de la sonicación debe estar claramente definido. definido – ¿Qué información específica debería poder extraer el oyente?⁶ Esto será Informar sobre la elección de parámetros de audio apropiados que sean perceptivamente relevantes para Las dimensiones de los datos que se representan.⁶ Un mapeo sistemático y reproducible Se debe establecer y aclarar la relación entre los datos y los parámetros de sonido. documentado.³ Consideraciones sobre la polaridad del mapeo (por ejemplo, datos más altos = tono más alto) y la escala (cómo los rangos de datos se traducen a rangos de sonido) debe alinearse con el oyente. expectativas y las características perceptivas de los parámetros elegidos.⁶ Siempre que señales de audio contextuales, como sonidos que indican el alcance de los datos o información importante Los umbrales pueden ayudar significativamente a la interpretación.⁶ El proceso de diseño debe ser iterativo, que implica pruebas y mejoras basadas en la retroalimentación del usuario y la percepción estudios.² Se deben evitar las sonicaciones demasiado complejas para prevenir problemas cognitivos. sobrecarga, con el foco puesto en representar claramente los elementos de datos clave.¹⁷ Aunque estético El atractivo puede mejorar la participación, el objetivo principal debe ser la efectividad. comunicación de información.⁶ Por último, una documentación clara de las estrategias de mapeo y el significado de los sonidos resultantes es crucial para que la sonicación sea comprensible y útil.⁴

Más allá de estas pautas generales, varias consideraciones perceptivas son fundamentales para creando sonicaciones efectivas. El mapeo idealmente debería buscar la percepción linealidad, donde los cambios percibidos en el sonido son proporcionales a los cambios en la datos subyacentes.²⁰ Los parámetros y asignaciones elegidos también deben ofrecer suficiente resolución perceptiva, permitiendo a los oyentes discernir diferencias significativas en el datos.²⁰ Efectos de histéresis, donde la percepción del cambio depende de la dirección. Los riesgos de cambio deben minimizarse.²⁰ Cuando se utilizan varios parámetros, se debe tener cuidado tomadas para minimizar la interferencia perceptiva entre ellas, aprovechando potencialmente Principios de transmisión auditiva para segregar o integrar diferentes sonidos. componentes según sea necesario.⁶ Una conciencia de la diferencia apenas perceptible (JND) para Cada parámetro auditivo es crucial para garantizar que las variaciones de datos sean realmente perceptible.²⁰ También debe tenerse en cuenta la familiaridad y la formación de los oyentes previstos. se consideran y se les brinda capacitación, si es necesario, para garantizar que puedan interpretar con precisión la sonicación.⁶ Se deben tener en cuenta las limitaciones de la memoria del sistema auditivo,

Sugerir que las sonicaciones deben tener una duración razonable y permitir la repetición puede ayudar en las comparaciones. También ⁵⁹ Reconociendo que los oyentes individuales pueden tener es importante tener en cuenta las diferentes capacidades y sensibilidades ⁶ Finalmente, ¿dónde? auditivas. Si es apropiado, considerar asignaciones que se alineen con las asociaciones de sonidos del mundo real (validez ecológica) puede mejorar la intuición y la facilidad de comprensión. ¹⁶

La sonicación eficaz de datos es una tarea inherentemente interdisciplinaria que exige una sólida comprensión tanto de los datos representados como de los complejos principios de la percepción auditiva humana. Al considerar cuidadosamente estas prácticas recomendadas y los factores perceptivos durante todo el proceso de diseño, los profesionales pueden crear visualizaciones auditivas que no solo sean informativas, sino también comprensibles y atractivas para el público objetivo.

10. Conclusión: Resumen de los hallazgos y recomendaciones clave

Este informe ha explorado el uso efectivo del mapeo de parámetros en la sonicación de datos, centrándose en la aplicación estratégica de Tono, Frecuencia, Volumen, Panorámica estéreo, Trémolo, Paso bajo, Paso alto, Duración de nota y Espacio entre notas. Los hallazgos clave indican que el Tono y la Frecuencia son fundamentales para representar la magnitud y las tendencias, aprovechando la sensibilidad del oído humano a los cambios en estos parámetros. El Volumen proporciona una forma directa e intuitiva de comunicar la intensidad o prevalencia de los datos.

El panorama estéreo es invaluable para representar relaciones espaciales o distinguir entre múltiples flujos de datos. Si bien el trémolo ofrece potencial para codificar información adicional gracias a sus características de modulación, su uso explícito en la sonicación de datos parece estar menos documentado en el material revisado. Los filtros paso bajo y paso alto son eficaces para moldear la textura sonora y resaltar componentes de frecuencia específicos relacionados con las características de los datos. Finalmente, la duración y el intervalo de notas ofrecen medios directos para traducir los aspectos temporales de los datos en patrones y ritmos audibles.

A lo largo de este análisis, se ha enfatizado constantemente la importancia crucial de comprender la percepción auditiva humana. La sonicación eficaz depende de la cuidadosa consideración de la linealidad perceptual, la resolución, la interferencia, la JND y la familiaridad y el entrenamiento del oyente. Sin una base sólida en estos principios, incluso las estrategias de mapeo bien intencionadas pueden resultar insuficientes para transmitir eficazmente la información deseada.

Para los profesionales de la sonicación de datos, surgen varias recomendaciones. Es fundamental comenzar con una comprensión clara de los datos y la tarea específica que la sonicación pretende abordar. Se recomienda experimentar con diferentes estrategias de mapeo para cada parámetro de audio, teniendo en cuenta las características perceptuales.

Tanto de los datos como del sonido. Si bien las consideraciones estéticas pueden influir en la interacción, la claridad y la comprensibilidad siempre deben prevalecer.

Incorporar consideraciones perceptivas a lo largo de todo el proceso de diseño, desde el mapeo inicial hasta la evaluación final, es fundamental. Probar y evaluar las sonicaciones con los usuarios previstos es esencial para identificar áreas de mejora y garantizar la eficacia del diseño. Finalmente, la documentación exhaustiva de las decisiones de diseño y las estrategias de mapeo es crucial para la reproducibilidad y la comprensión de la sonicación.

La investigación futura en sonicación de datos podría explorar con mayor profundidad la aplicación matizada de parámetros como el trémolo e investigar estrategias óptimas para combinar múltiples señales auditivas y representar conjuntos de datos de alta dimensión. El desarrollo de herramientas y directrices estandarizadas basadas en la investigación perceptual también será crucial para el continuo crecimiento y la adopción de la sonicación de datos como una herramienta valiosa para el análisis y la comunicación de datos en diversos dominios. A medida que nuestro mundo se vuelve cada vez más rico en datos, la capacidad de traducir eficazmente información compleja a formatos intuitivos y accesibles no hará más que cobrar importancia, y la sonicación de datos se erige como un enfoque prometedor y potente en este sentido.

Obras citadas

1. De los datos a la melodía: La sonicación de datos y su papel en la ciencia abierta | NASA Earthdata, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.earthdata.nasa.gov/news/blog/from-data-melody-data-sonication-its-role-open-science>
2. Una revisión sistemática de las estrategias de mapeo para la sonicación de materiales físicos Cantidades - PMC, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3866150/> 3. El Manual de Sonicación Capítulo 2 Teoría de la Sonicación - CiteSeerX, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=528b2e78179e5585b71fc63f5763128b0461674e> 4. El sonido de la ciencia: La sonicación de datos ha emergido como una posible alternativa a la visualización de datos - EMBO Press, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.embopress.org/doi/10.1038/s44319-024-00230-6>
5. Sonicación de datos a música y participación del usuario - PMC, fecha de acceso: abril 23 de febrero de 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10448511/>
6. sonify.psych.gatech.edu, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://sonify.psych.gatech.edu/~ben/references/nees_theory_of_sonication.pdf 7. Abre tus oídos para echar un vistazo: Un informe de vanguardia sobre la integración de la sonicación y la visualización - arXiv, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://arxiv.org/html/2402.16558v1>
8. La sonicación métrica como nueva forma de transmitir datos bibliométricos ..., fecha de acceso:

- 23 de abril de 2025, <https://www.leidenmadtrics.nl/articles/metrics-sonication-as-a-new-way-to-convey-bibliometric-data>
9. Métodos | Kit de herramientas de sonicación de datos, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.sonationkit.com/data-sonication/methods>
10. MAPEO DE PARÁMETROS DE LA ARTICULACIÓN SÓNICA Y EL CUERPO PERCEPTOR David Worrall Escuela de Música, Facultad de Artes y Ciencias Sociales, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/88095006-2d4a-4955-b0be-eea59274c25c/content>
11. El sonido de la ciencia: La sonicación de datos ha emergido como una posible alternativa a la visualización de datos - PMC - PubMed Central, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11387736/>
12. Una revisión sistemática de las estrategias de mapeo para la sonicación de materiales físicos Cantidades - PLOS, consultado: 23 de abril de 2025, <https://journals.plos.org/plosone/article?doi=10.1371/journal.pone.0082491&type=e=printable>
13. Rapsodias de Rubin: un proyecto para ofrecer acceso a los datos del Legacy Survey of Space and Time a través del sonido - LSST-TVS, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://lsst-tvssc.github.io/RubinRhapsodies/project.html>
14. ¿Qué es el mapeo de datos? - Accessible Oceans, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://accessibleoceans.who.edu/what-is-data-mapping/>
15. Parámetros de sonido y datos | Kit de herramientas de sonicación de datos, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.sonationkit.com/data-sonication/concepts/sound-and-data-parameters>
16. Una revisión sistemática de las estrategias de mapeo para la sonicación de materiales físicos Cantidades, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://journals.plos.org/plosone/article?doi=10.1371/journal.pone.0082491>
17. Escucha el universo: Cómo la sonicación convierte los datos en sonido - Astronomía Revista, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.astronomy.com/science/how-sonication-turns-data-into-sound/>
18. Más allá de los mapas y los gráficos: sonicación de datos - Global Water Security Center, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://ua-gwsc.org/beyond-maps-and-charts-data-sonication/>
19. Pautas de diseño para la sonicación de datos: creación de una alternativa de audio a los gráficos para personas con discapacidad visual - Nick Evershed, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://nickevershed.com/2024/02/11/design-guidelines-for-data-sonication-making-an-audio-alternative-to-charts-for-people-who-are-vision-impaired/>
20. PAMPAS: un método psicoacústico para la percepción... - Frontiers, consultado: 23 de abril de 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2022.930944/full>
21. Accessible Data Representation with Natural Sound - Naimul Hoque, fecha de acceso: abril 23, 2025, <https://naimulhoque.github.io/docs/chi23-404.pdf>

22. Sonicación: Cuando vas más allá de la representación visual de los datos, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://towardsdatascience.com/sonication-when-you-go-beyond-the-visual-re-presentation-of-data-cf6c7229a557/>

23. Erie: Una gramática declarativa para la sonificación de datos - arXiv, fecha de acceso: abril 23, 2025, <https://arxiv.org/html/2402.00156v1>

24. Ejemplos — documentación de STRAUSS 1.0.0, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://strauss.readthedocs.io/en/development/examples.html> 25. Erie: A Declarative Grammar for Data Sonication - Mu Collective, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://strauss.readthedocs.io/en/development/examples.html> 26. Erie: A Declarative Grammar for Data Sonication - Mu Collective, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://strauss.readthedocs.io/en/development/examples.html>

27. Erie: A Declarative Grammar for Data Sonication - Mu Collective, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://strauss.readthedocs.io/en/development/examples.html> 28. Erie: A Declarative Gramática para la sonificación de datos -

Acceso: 23 de abril de 2025, <https://mucollective.northwestern.edu/les/2024-erie.pdf>

26. Erie: Una gramática declarativa para la sonificación de datos (preimpresión web), fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://see-mike-out.github.io/erie-editor/paper/> 27. Sonicación para la comunicación de datos - Iniciativas digitales en el Grad Center - CUNY, fecha de acceso: 23 de abril de 2025,

<https://gcdi.commons.gc.cuny.edu/2021/04/19/sonication-for-data-communication/>

28. Mapping overview - Highcharts, fecha de acceso: abril 23, 2025,

<https://www.highcharts.com/samples/highcharts/sonication/mapping-overview>

29. www.cs.kent.ac.uk, fecha de acceso: abril 23, 2025,

<https://www.cs.kent.ac.uk/pubs/2007/2592/content.pdf>

30. Explorando mapas mediante sonidos: uso de la sonicación por mapeo de parámetros para hacer audibles los modelos digitales de elevación - | Departamento de Geografía | UZH, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://user.geo.uzh.ch/sfabri/pubs/schito_fabs_ijgis18.pdf 31. «Los

Diarios de Datos»: Sonicación de Datos del Eclipse Solar Total - Nightingale, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://nightingaledvs.com/interactive-data-diaries-data-sonication-total-solar-eclipse/>

32. STREAM-BASED SONIFICATION DIAGRAMS, fecha de acceso: abril 23, 2025,

https://repository.gatech.edu/bitstreams/9c070cf5-414c-4b-9d5e-716567ec47_d1/download

33. ¿Qué es el panning en la mezcla musical? Consejos y técnicas - Soundtrap, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.soundtrap.com/content/blog/panning-in-music-mixing>

34. Efecto trémolo: qué es y cómo usarlo en la mezcla, fecha de acceso: 23 de abril 2025, <https://www.musicguymixing.com/tremolo-effect/>

35. Sonication of Complex Spectral Structures - Frontiers, fecha de acceso: abril 23, 2025,

<https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2022.832265/full>

36. Sonication, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://www.audiolabs-erlangen.de/resources/MIR/FMP/B/B_Sonication.html

37. Un enfoque basado en estratos para discutir la sonificación artística de datos - Pure, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://pure-oai.bham.ac.uk/ws/portal/portal/172318232/Mardakheh_Wilson_Accepted_Manuscript_copyrighted.pdf

38. Sonicación de estructuras espectrales complejas - PMC - PubMed Central, fecha: 23 de abril de 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8960303/> 39. (PDF) Marca basada en el habla para la sonicación de datos - ResearchGate, fecha: 23 de abril de 2025, https://www.researchgate.net/publication/385286447_Speech-based_Mark_for_Data_Sonation 40. Sonicación de datos en la práctica creativa - Núria Bonet, 23 de febrero de 2025, <https://nuriabo.net/data/les/2019boneilella10504498phd.pdf> 41. 024 Sonicación de datos con números fuertes - YouTube, publicado el: 23 de abril de 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=vpKiFtha3fQ>
42. Terminología sonora que describe la producción y percepción de la sonicación - arXiv, Fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://arxiv.org/pdf/2312.00091> 43. Filtros de paso alto vs. filtro de paso bajo: ¿cuál es mejor para su aplicación? - Q Microwave, Fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://qmicrowave.com/blog/high-pass-vs-lowpass-filters-which-is-best-for-your-application>
44. How Filter works—ArcGIS Pro | Documentation, fecha de acceso: abril 23, 2025, <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-filter-works.htm>
45. ¿Alguien puede explicar qué es un filtro paso alto y uno paso bajo? ¿Y cuál es su diferencia? : r/edmproduction - Reddit, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://www.reddit.com/r/edmproduction/comments/3bg3ku/can_someone_explain_a_high_pass_filter_and_low/
46. Explicación de los filtros paso alto y paso bajo - Audacity Bootcamp - YouTube, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://www.youtube.com/watch?v=2R7qSYa_G8Y 47. sonication.defaultInstrumentOptions.mapping | Referencia de la API de Highcharts, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://api.highcharts.com/highcharts/sonication.defaultInstrumentOptions.mapping>
48. Filtros paso bajo y paso alto (explicación y ejemplos) - YouTube, fecha de lanzamiento: 23 de abril de 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=8ldCYjx5VI&pp=0gcJCdgAo7VqN5tD> 49. sonication.globalTracks.mapping | Referencia de API de Highcharts, fecha de lanzamiento: 23 de abril de 2025, <https://api.highcharts.com/highcharts/sonication.globalTracks.mapping> 50. Fundamentos de adquisición de datos: amplificación, filtrado, muestreo y manejo del ruido, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://www.adinstruments.com/blog/basics-data-acquisition>
51. Audication - Océanos Accesibles - Institución Oceanográfica Woods Hole, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://accessibleoceans.who.edu/audication/> 52. Listen: Un kit de herramientas de sonicación de datos - ICAD, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://rjionline.org/news/sonication-turning-stories-into-sound/> 53. Sonicación: Convertir historias en sonido – RJL - Reynolds Journalism Institute, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://rjionline.org/news/sonication-turning-stories-into-sound/>
-

54. Sonicación: narrando historias de datos a través del sonido | Towards Data Science, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://towardsdatascience.com/sonication-telling-data-stories-through-sound-d1f98d0071/> 55. Un Universo Sonoro - [Observatorio de Rayos X Chandra](#), fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://chandra.si.edu/sound/>
56. Archivo de Sonicación de Datos, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://sonication.design/> 57. (PDF) Personify: Un Kit de Herramientas para la Sonicación Perceptualmente Significativa - ResearchGate, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://www.researchgate.net/publication/2714957_Personify_A_Toolkit_for_Perceptually_Meaningful_Sonication 58. EVALUACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE MAGNITUD ... - ResearchGate, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, https://www.researchgate.net/profile/Stephen-Brewster-2/publication/334861538_Evaluating_the_Magnitude_Estimation_Approach_for_Designing_Sonication_Mapping_Topologies/links/5e3c035ea6fdccd9658b1579/Evaluating-the-Magnitude-Estimation-Approach-for-Designing-Sonication-Mapping-Topologies.pdf 59. El Manual de Sonicación, Capítulo 6. Evaluación de la Visualización Auditiva, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://sonication.de/handbook/download/TheSonationHandbook-chapter6.pdf>
60. Capítulo 10 Métodos de laboratorio para sonicación experimental, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://sonication.de/handbook/download/TheSonationHandbook-chapter10.pdf>
61. Mapeo de la sonicación para la percepción y la acción en el aprendizaje de habilidades motoras - PMC, fecha de acceso: 23 de abril de 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5566964/>