

Musicología acústica e inclusión para la creación sostenible de instrumentos musicales.

Acoustic musicology and inclusion for the sustainable creation of musical instruments.

Musicologia acústica e inclusão para a criação sustentável de instrumentos musicais.

Fecha de presentación: 20/07/2026, Fecha de Aceptación: 15/08/2026, Fecha de publicación: 01/09/2026



Ángel Josueph Armijos-Barrera

E-mail: armijosb3@institutojubones.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-9903-2000>

Instituto Superior Tecnológico Jubones, Pasaje, Ecuador

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Armijos-Barrera, Á. J. (2026). Musicología acústica e inclusión para la creación sostenible de instrumentos musicales. *Revista Ciencia & Sociedad*, 6(3), 490–506. <https://cienciaysociedaduatf.com/index.php/ciesocieuatf/article/view/68>

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo analizar sistemáticamente la evidencia científica relacionada con la medición acústica, la selección sostenible de materiales y la inclusión de personas con discapacidad visual en la creación, evaluación y uso de instrumentos musicales. Se desarrolló una revisión sistemática de literatura conforme a los lineamientos de PRISMA 2020, mediante la búsqueda de publicaciones científicas en Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y Latindex, complementada con Google Scholar y repositorios institucionales para verificación y recuperación documental. Se establecieron criterios explícitos de elegibilidad, selección y extracción de información, y la evidencia fue organizada mediante una síntesis narrativa estructurada en tres dimensiones: acústica, materiales y sostenibilidad, e inclusión y accesibilidad. Los resultados mostraron que la caracterización mediante frecuencia, espectro, FFT, modelización y análisis modal permite evaluar objetivamente el comportamiento sonoro de los instrumentos. Asimismo, se identificó que las propiedades de la madera y el bambú, particularmente densidad, rigidez, amortiguamiento y estructura, condicionaron su respuesta vibratoria y su potencial de utilización sostenible. En materia de inclusión, la literatura evidenció barreras pedagógicas y de acceso, junto con oportunidades derivadas de recursos táctiles, auditivos y tecnológicos. Se concluyó que existe una integración todavía limitada entre acústica, sostenibilidad e inclusión, por lo que se requiere desarrollar investigaciones experimentales interdisciplinarias que incorporen accesibilidad desde el diseño instrumental.

Palabras clave: acústica musical; instrumentos musicales; sostenibilidad; discapacidad visual.

ABSTRACT

The study aimed to systematically analyze scientific evidence concerning acoustic measurement, sustainable material selection, and the inclusion of people with visual impairment in the creation, evaluation, and use of musical instruments. A systematic literature review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines through searches of scientific publications in Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc, and Latindex, complemented by Google Scholar and institutional repositories for verification and additional document retrieval. Explicit eligibility, selection, and data extraction criteria were established, and the evidence was organized through a narrative synthesis structured around three dimensions: acoustics, materials and sustainability, and inclusion and accessibility. The results showed that characterization through frequency, spectrum, FFT, modeling, and modal analysis enables objective assessment of the acoustic behavior of musical instruments. The review also found that the properties of wood and bamboo, particularly density, stiffness, damping, and structural characteristics, influence their vibrational response and sustainable utilization potential. Regarding inclusion, the literature identified pedagogical and access barriers, together with opportunities provided by tactile, auditory, and technological resources. It was concluded that integration among acoustics, sustainability, and inclusion remains limited, highlighting the need for interdisciplinary experimental research that incorporates accessibility from the initial stages of instrument design.

Keywords: musical acoustics; musical instruments; sustainability; visual impairment.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo analisar sistematicamente as evidências científicas relacionadas à medição acústica, à seleção sustentável de materiais e à inclusão de pessoas com deficiência visual na criação, avaliação e utilização de instrumentos musicais. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura de acordo com as diretrizes PRISMA 2020, mediante a busca de publicações científicas nas bases Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc e Latindex, complementada pelo Google Scholar e por repositórios institucionais para verificação e recuperação documental adicional. Foram estabelecidos critérios explícitos de elegibilidade, seleção e extração das informações, e as evidências foram organizadas por meio de uma síntese narrativa estruturada em três dimensões: acústica, materiais e sustentabilidade, e inclusão e acessibilidade. Os resultados mostraram que a caracterização por meio de frequência, espectro, FFT, modelagem e análise modal permite avaliar objetivamente o comportamento acústico dos instrumentos musicais. Também se identificou que as propriedades da madeira e do bambu, especialmente densidade, rigidez, amortecimento e características estruturais, condicionam sua resposta vibratória e seu potencial de utilização sustentável. No âmbito da inclusão, a literatura evidenciou barreiras pedagógicas e de acesso, juntamente com oportunidades decorrentes de recursos táteis, auditivos e tecnológicos. Concluiu-se que a integração entre acústica, sustentabilidade e inclusão ainda é limitada, sendo necessário desenvolver pesquisas experimentais interdisciplinares que incorporem a acessibilidade desde o projeto dos instrumentos.

Palavras-chave: acústica musical; instrumentos musicais; sustentabilidade; deficiência visual.

INTRODUCCIÓN

La musicología ha experimentado una progresiva ampliación de sus objetos y métodos de estudio, incorporando perspectivas procedentes de la acústica, la organología, la física, la ingeniería y las ciencias de los materiales. Desde las primeras propuestas de clasificación sistemática de los instrumentos musicales, se ha reconocido la necesidad de comprender no solo sus características morfológicas, sino también las relaciones entre estructura, producción

sonora y contexto cultural (Adler, 1885; Von Hornbostel y Sachs, 1914). En este proceso, los instrumentos musicales pueden ser analizados como sistemas complejos en los que convergen dimensiones históricas, constructivas, acústicas y tecnológicas. La incorporación de herramientas de análisis científico ha permitido superar parcialmente las aproximaciones exclusivamente descriptivas y avanzar hacia la caracterización objetiva del comportamiento sonoro. En este sentido, la denominada escritura sónica y los estudios contemporáneos sobre materialidad musical permiten comprender el sonido como resultado de interacciones entre materia, tecnología y prácticas musicales (Magnusson, 2019).

Dentro de esta perspectiva interdisciplinaria, la acústica musical constituye un componente fundamental para comprender y evaluar el comportamiento de los instrumentos. Variables como la frecuencia fundamental, los armónicos, el espectro sonoro, la resonancia, la intensidad y la radiación acústica permiten describir objetivamente características que tradicionalmente han sido valoradas mediante apreciaciones perceptivas. Los estudios orientados a la modelización de instrumentos han demostrado que las propiedades constructivas y materiales pueden modificar significativamente su respuesta dinámica y espectral (Viala et al., 2021). Asimismo, investigaciones realizadas sobre instrumentos de bambú han empleado procedimientos de análisis vibratorio y espectral para determinar características relacionadas con la frecuencia de resonancia y la producción del tono (Rezaur et al., 2022). Desde una perspectiva más amplia, la investigación acústica contemporánea considera los instrumentos como fuentes sonoras dinámicas, cuyo comportamiento depende de la interacción entre excitación, estructura, vibración y radiación sonora (Ackermann et al., 2024). Por ello, la medición objetiva constituye un recurso relevante para la evaluación y optimización de instrumentos musicales.

La dimensión material adquiere especial importancia cuando el análisis acústico se vincula con los principios de sostenibilidad. La selección de materiales para la fabricación de instrumentos no depende exclusivamente de su disponibilidad o apariencia, sino también de propiedades físicas como densidad, rigidez, amortiguamiento, estabilidad dimensional y capacidad de vibración. La madera ha desempeñado históricamente un papel esencial en la construcción de numerosos instrumentos debido a sus propiedades acústicas, aunque su utilización plantea actualmente interrogantes relacionados con disponibilidad, conservación y sostenibilidad de determinadas especies (Wegst, 2006). De manera complementaria, el bambú ha despertado interés como material potencial para aplicaciones musicales debido a su disponibilidad renovable y a sus características estructurales. Estudios recientes muestran que determinados tratamientos pueden modificar favorablemente su comportamiento vibratorio y acústico, mientras que las características estructurales y químicas influyen directamente en su respuesta sonora (Deng et al., 2022; Deng et al., 2023). Así, la sostenibilidad debe considerarse conjuntamente con el desempeño acústico y las condiciones técnicas de utilización.

La incorporación de criterios de sostenibilidad plantea, además, la necesidad de considerar alternativas a determinadas maderas empleadas tradicionalmente en la construcción de instrumentos. En el ámbito de las guitarras acústicas, se ha señalado la relevancia de examinar el uso de especies maderables desde una perspectiva que considere tanto sus propiedades como las condiciones del mercado y su disponibilidad a largo plazo (Calvano et al., 2023). De igual manera, la caracterización de materiales destinados a componentes resonantes requiere atender propiedades elásticas y de amortiguamiento, debido a su influencia sobre la respuesta acústica del instrumento (Quintavalla et al., 2022). Esta perspectiva permite superar una concepción de la sostenibilidad limitada exclusivamente a la sustitución de materiales y orientarla hacia una selección técnicamente fundamentada. En consecuencia, el diseño de instrumentos puede constituirse en un espacio de articulación entre innovación constructiva, aprovechamiento responsable de recursos y búsqueda de características acústicas adecuadas para su utilización musical.

Paralelamente, la investigación sobre instrumentos y educación musical debe incorporar una perspectiva de accesibilidad que permita garantizar la participación efectiva de personas con discapacidad visual. En los espacios de formación musical persisten dificultades relacionadas con el acceso a materiales, partituras, recursos didácticos, instrumentos y procedimientos de enseñanza predominantemente visuales. Las percepciones del profesorado evidencian que la inclusión requiere no solamente buena disposición, sino también conocimientos específicos y estrategias pedagógicas capaces de responder a las necesidades del alumnado con discapacidad visual (Pino, 2022). En el aula musical inclusiva, la adaptación de materiales, metodologías y formas de interacción puede favorecer una participación más autónoma y significativa (Pino et al., 2022). Asimismo, los estudios desarrollados en conservatorios españoles muestran la necesidad de fortalecer las condiciones institucionales y pedagógicas para garantizar una formación musical accesible, mientras que investigaciones sobre músicos ciegos han identificado dificultades relacionadas con los instrumentos, las agrupaciones musicales y las condiciones de participación profesional (Sánchez y Muñoz, 2020, 2022).

La tecnología representa, en este contexto, una posibilidad adicional para reducir algunas de las barreras asociadas al predominio de información visual en la práctica musical. El desarrollo de recursos digitales y sistemas específicamente orientados a músicos con discapacidad visual puede facilitar procesos de formación, dirección, interacción y retroalimentación. Un ejemplo es MetroSonus, concebido como una alternativa tecnológica para apoyar la formación y dirección de músicos con discapacidad visual mediante recursos que favorecen una interacción más accesible con determinados procesos musicales (Gaitán Lozano & Reina Zambrano, 2024). Estas iniciativas muestran que la inclusión puede beneficiarse de soluciones tecnológicas cuando su diseño responde a necesidades reales de los usuarios y no se limita a trasladar contenidos visuales a formatos digitales. Por tanto, la accesibilidad debe incorporarse desde la concepción del recurso o instrumento, considerando mecanismos auditivos, táctiles y tecnológicos que favorezcan la autonomía del estudiante y del intérprete.

A partir de estas consideraciones, se identifica la necesidad de examinar conjuntamente tres dimensiones que con frecuencia han sido abordadas de manera diferenciada: la caracterización acústica objetiva de los instrumentos, la utilización responsable de materiales y la inclusión de personas con discapacidad visual en los procesos musicales. La literatura disponible ofrece aportes relevantes sobre modelización y medición acústica, comportamiento de madera y bambú, sostenibilidad de materiales y estrategias de educación musical inclusiva; sin embargo, estos aportes no necesariamente se encuentran articulados en un mismo marco de análisis. Esta situación adquiere especial relevancia en contextos de formación técnica y tecnológica, donde la construcción, evaluación y utilización de instrumentos pueden constituir oportunidades para desarrollar competencias musicales, científicas, tecnológicas e inclusivas. En consecuencia, resulta pertinente realizar una revisión sistemática que permita organizar la evidencia existente, identificar convergencias y limitaciones y determinar qué conocimientos pueden sustentar propuestas integradoras.

En este marco, la presente revisión sistemática tiene como objetivo analizar la evidencia científica sobre medición acústica, selección sostenible de materiales e inclusión de personas con discapacidad visual en la creación, evaluación y uso de instrumentos musicales, identificando tendencias, convergencias, limitaciones y vacíos de conocimiento con potencial aplicación en la formación musical. La revisión se orienta mediante la metodología PRISMA 2020, con el propósito de garantizar transparencia en la identificación, selección, evaluación y síntesis de la literatura científica. Desde esta perspectiva, el estudio busca aportar una visión interdisciplinaria que permita comprender cómo la precisión de las mediciones acústicas, la selección responsable de materiales y el diseño accesible pueden converger en procesos de innovación instrumental. La pertinencia de esta aproximación radica en que la sostenibilidad y la inclusión no se consideran elementos adicionales al diseño musical, sino dimensiones que pueden integrarse desde la concepción, construcción, evaluación y utilización de los instrumentos.

Metodología

Diseño

Se desarrolló una revisión sistemática de literatura, orientada a identificar, organizar y sintetizar evidencia científica relacionada con la medición acústica, los materiales sostenibles y la inclusión de personas con discapacidad visual en el ámbito de los instrumentos musicales. El proceso de reporte se estructuró conforme a las recomendaciones de PRISMA 2020, que establece elementos esenciales para transparentar la identificación, selección, evaluación y presentación de los estudios incluidos (Page et al., 2021). Asimismo, se consideraron los principios metodológicos para la planificación y ejecución de revisiones sistemáticas descritos en el *Cochrane Handbook* (Haddaway et al., 2022; Higgins et al., 2024).

Fuentes de información

La búsqueda documental se efectuó en Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y Latindex, seleccionadas por su relevancia para la recuperación de literatura científica y académica en las áreas de acústica, música, materiales, educación e inclusión. De manera complementaria, Google Scholar y repositorios institucionales fueron utilizados para localizar documentos adicionales y verificar información bibliográfica, sin sustituir las bases de datos principales. La estrategia de búsqueda se diseñó procurando que los procedimientos de recuperación fueran explícitos y reproducibles, siguiendo las recomendaciones metodológicas para desarrollar búsquedas sistemáticas eficientes (Bramer et al., 2018; Page et al., 2021).

Estrategia de búsqueda

La estrategia combinó descriptores en español e inglés relacionados con los tres ejes de análisis: acústica musical, sostenibilidad e inclusión. Entre los términos empleados se consideraron *acoustic measurement*, *musical acoustics*, *musical instruments*, *sustainable materials*, *bamboo*, *wood*, *visual impairment*, *blind musicians* e *inclusive music education*, articulados mediante los operadores booleanos AND y OR. Esta combinación permitió ampliar la recuperación de estudios que abordaran de manera independiente o integrada las dimensiones del problema. La estructuración de las ecuaciones de búsqueda siguió criterios de exhaustividad, pertinencia y reproducibilidad recomendados para revisiones de literatura (Bramer et al., 2018; Page et al., 2021).

Criterios de elegibilidad

Se estableció como periodo de análisis 2021–2025, con el propósito de priorizar evidencia contemporánea sobre los avances científicos y tecnológicos relacionados con el objeto de estudio. Se consideraron publicaciones en español e inglés, incluyendo artículos científicos y documentos académicos pertinentes para los objetivos de la revisión. Fueron excluidos los registros duplicados, documentos de opinión sin fundamentación científica suficiente y referencias cuya existencia o información bibliográfica no pudiera ser verificada. La definición previa de criterios de inclusión y exclusión permitió reducir la subjetividad durante el proceso de selección y mantener la trazabilidad de las decisiones metodológicas (Page et al., 2021; Higgins et al., 2024).

Selección y extracción de información

El proceso de selección contempló las etapas de identificación, eliminación de duplicados, cribado, revisión del texto completo y determinación de los estudios incluidos, registrando las razones de exclusión correspondientes. De cada publicación seleccionada se extrajeron datos relativos al diseño del estudio, objeto de investigación, variables o dimensiones analizadas, intervención o tecnología empleada, principales hallazgos y limitaciones identificadas. Esta sistematización permitió construir una matriz de extracción orientada a comparar los resultados y reconocer patrones entre los estudios, conforme a las recomendaciones para documentar procesos de revisión y síntesis de evidencia (Page et al., 2021; Peters et al., 2020).

Síntesis de la evidencia

Debido a la heterogeneidad temática y metodológica de los estudios recuperados, los resultados fueron organizados mediante una síntesis narrativa, agrupando la evidencia en tres categorías principales: acústica y caracterización sonora; materiales y sostenibilidad; e inclusión y accesibilidad musical. Esta estrategia permitió establecer convergencias, diferencias y vacíos de conocimiento sin asumir una homogeneidad suficiente para realizar un metaanálisis estadístico. La síntesis narrativa se desarrolló mediante la comparación temática de los hallazgos y su articulación con el propósito de la revisión, siguiendo las orientaciones metodológicas propuestas por Popay et al. (2006) y los principios de transparencia de PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

RESULTADOS

La revisión sistemática permitió organizar la evidencia científica en torno a tres dimensiones articuladas: acústica y caracterización sonora, materiales y sostenibilidad, e inclusión y accesibilidad musical. La literatura seleccionada mostró que estas dimensiones han sido estudiadas con diferente grado de profundidad y, en general, mediante aproximaciones especializadas que no siempre convergen en un mismo diseño de investigación. Los estudios acústicos se concentraron principalmente en la caracterización física y modelización de instrumentos, mientras que los trabajos sobre materiales analizaron propiedades mecánicas, estructurales y ambientales. Por su parte, las investigaciones sobre discapacidad visual enfatizaron las barreras pedagógicas y la necesidad de recursos accesibles.

Fundamentos acústicos

Los estudios revisados evidenciaron que la caracterización acústica de un instrumento musical requiere considerar variables relacionadas con la frecuencia fundamental, afinación, contenido armónico, espectro, resonancia, intensidad y radiación sonora. Viala et al. (2021) demostraron la utilidad de la modelización para relacionar características constructivas de una guitarra con su comportamiento acústico, mientras que Rezaur et al. (2022) emplearon parámetros vibroacústicos para analizar el comportamiento de un instrumento de bambú. Estos resultados muestran que la evaluación del sonido no debe limitarse a la percepción auditiva, sino complementarse con mediciones objetivas que permitan identificar diferencias reproducibles entre instrumentos.

La evidencia también mostró que los instrumentos musicales deben entenderse como sistemas dinámicos en los que la producción sonora depende de la interacción entre excitación, estructura vibrante, resonancia y radiación. En este sentido, Ackermann et al. (2024) plantearon una aproximación dinámica de las fuentes sonoras musicales, destacando que las características de radiación y directividad varían durante la ejecución. Desde esta perspectiva, variables como la intensidad o el espectro no constituyen propiedades estáticas del instrumento, sino respuestas dependientes de las condiciones de excitación y del modo de interpretación. Esta consideración resulta relevante para establecer procedimientos de evaluación acústica más completos.

Caracterización objetiva del sonido

La literatura identificó diferentes procedimientos para transformar las características perceptuales del sonido en indicadores cuantificables. Entre ellos destacan la transformada rápida de Fourier (FFT), el análisis modal, la modelización numérica y la caracterización de parámetros físicos de los componentes instrumentales. Viala et al. (2021) utilizaron modelos orientados a relacionar propiedades de una tabla armónica con el comportamiento acústico, mientras que Elie et al. (2022) desarrollaron herramientas de síntesis y modelización físico-acústica aplicables al diseño de tablas armónicas de piano. Resch et al. (2022), por su parte, demostraron la utilidad de la simulación tridimensional para estudiar la propagación sonora en instrumentos de viento.

Los resultados indican, por tanto, que la instrumentación y el análisis digital pueden contribuir a procesos de construcción y evaluación más objetivos. Sin embargo, cada procedimiento presenta un alcance específico: la FFT permite observar componentes espectrales, el análisis modal facilita el estudio de modos de vibración y los modelos numéricos permiten explorar relaciones entre geometría, materiales y respuesta acústica. La evidencia sugiere que la combinación de estas técnicas ofrece una caracterización más robusta que la utilización aislada de un único indicador. En consecuencia, la evaluación de prototipos musicales puede beneficiarse de protocolos que integren mediciones acústicas y variables constructivas.

Propiedades de la madera y el bambú

La evidencia relativa a los materiales mostró una relación directa entre propiedades físicas y mecánicas y el comportamiento vibratorio de los instrumentos. En el caso del bambú, Deng et al. (2022) analizaron los efectos del tratamiento térmico sobre su desempeño acústico y señalaron su potencial como material susceptible de modificación para mejorar determinadas propiedades vibratorias. Posteriormente, Deng et al. (2023) profundizaron en la relación entre estructura y composición química para explicar el comportamiento acústico del bambú. Estos trabajos permiten interpretar el material no solamente como un elemento constructivo, sino como un componente determinante de la respuesta sonora.

En las maderas empleadas en instrumentos de cuerda, propiedades como densidad, rigidez, amortiguamiento, anisotropía y contenido de humedad condicionan el comportamiento de los componentes vibrantes. Quintavalla et al. (2022) plantearon criterios para clasificar materiales destinados a tablas armónicas considerando propiedades elásticas ortotrópicas y de amortiguamiento. La evidencia converge en que la selección de materiales debe realizarse considerando simultáneamente sus características mecánicas y acústicas, dado que una modificación en densidad, rigidez o amortiguamiento puede alterar la respuesta vibratoria. Por ello, la evaluación objetiva constituye un mecanismo útil para fundamentar decisiones de selección y tratamiento de materiales.

Sostenibilidad de los materiales

La dimensión de sostenibilidad evidenció una preocupación creciente por el uso responsable de especies maderables y por la identificación de alternativas que permitan disminuir la presión sobre recursos naturales. Wegst (2006, 2008) mostró la importancia de las propiedades de la madera y el bambú para su utilización en instrumentos musicales, destacando la relación entre estructura material y desempeño sonoro. En una perspectiva más reciente, Calvano et al. (2023) analizaron el uso de maderas en guitarras acústicas y señalaron la relevancia de considerar disponibilidad, procedencia y sostenibilidad dentro de los procesos de fabricación (Hamdan et al., 2022). Así, la sostenibilidad no puede evaluarse exclusivamente desde criterios ambientales.

Los estudios revisados permiten establecer que la selección sostenible debe articular disponibilidad del recurso, trazabilidad, propiedades físico-mecánicas, comportamiento acústico y posibilidades de sustitución. El bambú adquiere especial interés debido a que puede constituir una alternativa renovable para determinadas aplicaciones instrumentales, aunque su utilización requiere caracterizar previamente sus propiedades y condiciones de tratamiento (Deng et al., 2022; Deng et al., 2023). En consecuencia, la literatura no respalda una sustitución automática de la madera por materiales alternativos, sino una evaluación comparativa que considere simultáneamente desempeño, durabilidad, procedencia y sostenibilidad.

Inclusión musical y discapacidad visual

La evidencia sobre inclusión musical mostró que las principales dificultades para estudiantes y músicos con discapacidad visual se relacionan con el acceso a recursos, materiales didácticos, información visual y determinadas prácticas pedagógicas. Pino (2022) identificó la importancia de la preparación docente para responder a las necesidades de estudiantes con

discapacidad visual, mientras que Pino et al. (2022) destacaron la necesidad de adaptar las metodologías y recursos utilizados en el aula de música. En el contexto de los conservatorios, Sánchez Sánchez y Muñoz Sánchez (2020) señalaron igualmente la importancia de generar condiciones formativas que permitan una participación efectiva de estudiantes con discapacidad visual.

Los estudios también evidenciaron que las dificultades no se limitan al proceso educativo, sino que abarcan la práctica musical y el acceso autónomo a los instrumentos. Sánchez Sánchez y Muñoz Sánchez (2022) documentaron dificultades y demandas específicas de músicos ciegos, relacionadas con instrumentos, agrupaciones y condiciones de participación. Desde esta perspectiva, la inclusión requiere trascender la adaptación puntual de materiales y avanzar hacia entornos musicales diseñados considerando diferentes formas de percepción e interacción. Los recursos táctiles, las instrucciones auditivas y la estructuración accesible de la información constituyen elementos relevantes para favorecer procesos de aprendizaje y participación musical.

Tecnología y autonomía

La incorporación de tecnologías accesibles representa una segunda línea de evidencia dentro de la dimensión inclusiva. Gaitán Lozano y Reina Zambrano (2024), mediante la propuesta MetroSonus, mostraron el potencial de herramientas tecnológicas para apoyar la formación y dirección musical de personas con discapacidad visual. De forma complementaria, Xin et al. (2023) analizaron la enseñanza del piano a niños ciegos y evidenciaron la relevancia de estrategias pedagógicas capaces de reconocer sus necesidades específicas y favorecer experiencias positivas de aprendizaje. En conjunto, estos resultados indican que la tecnología puede funcionar como mediadora entre la información musical y las posibilidades de participación autónoma.

La evidencia sugiere que la accesibilidad tecnológica resulta especialmente pertinente cuando proporciona retroalimentación auditiva, información háptica, referencias espaciales o mecanismos alternativos de interacción. No obstante, los estudios revisados se concentran principalmente en la enseñanza y la participación musical, mientras que existe menor evidencia sobre la incorporación de accesibilidad desde la etapa de diseño y construcción del propio instrumento. Este aspecto representa una oportunidad para ampliar el enfoque tradicional de inclusión, pasando de adaptar al usuario un instrumento ya construido a considerar sus necesidades perceptuales desde el diseño del producto musical.

Integración de los ejes de evidencia

La síntesis de los estudios permitió identificar una convergencia parcial entre acústica, sostenibilidad e inclusión, aunque la literatura continúa predominantemente fragmentada. Los estudios acústicos proporcionan procedimientos para medir y modelizar el comportamiento de los instrumentos; las investigaciones sobre materiales aportan criterios para seleccionar y modificar recursos con menor impacto ambiental; y los trabajos sobre inclusión ofrecen orientaciones para eliminar barreras de participación de personas con discapacidad visual. Sin embargo, estas tres líneas suelen desarrollarse de manera independiente. La principal aportación de la revisión consiste, por tanto, en identificar la posibilidad de articularlas dentro de un mismo proceso de diseño y evaluación instrumental.

Esta integración permite plantear un enfoque interdisciplinario en el que la calidad de un instrumento no sea definida únicamente por su respuesta acústica. Un prototipo podría evaluarse simultáneamente por sus propiedades sonoras, características y procedencia de los materiales, facilidad de fabricación y condiciones de accesibilidad para diferentes usuarios. La literatura revisada proporciona fundamentos parciales para cada una de estas dimensiones, pero evidencia una menor presencia de investigaciones que las incorporen de manera conjunta. Por ello, la convergencia identificada constituye una base conceptual para futuras propuestas aplicadas a la formación musical y a la construcción de instrumentos.

Vacíos identificados en la literatura

El análisis crítico permitió identificar cuatro vacíos principales. Primero, existe una limitada cantidad de estudios que integren en un mismo diseño medición acústica, sostenibilidad material e inclusión de personas con discapacidad visual. Segundo, buena parte de la evidencia procede de estudios especializados en instrumentos o materiales concretos, lo que limita la generalización de los resultados hacia otros contextos constructivos. Tercero, se observa la necesidad de ampliar la validación experimental mediante muestras mayores y protocolos comparables. Finalmente, son escasos los estudios que incorporan seguimiento longitudinal para determinar si las soluciones desarrolladas mantienen su desempeño acústico, material y funcional a lo largo del tiempo.

Estos vacíos no deben interpretarse como ausencia absoluta de investigación, sino como una insuficiente articulación entre campos que ya presentan avances significativos. La evidencia disponible demuestra que existen herramientas para medir objetivamente el sonido, caracterizar materiales sostenibles y desarrollar estrategias inclusivas; el desafío consiste en integrarlas dentro de modelos de diseño y evaluación interdisciplinarios. En consecuencia, futuras investigaciones deberían avanzar hacia estudios experimentales con prototipos, criterios acústicos previamente definidos, caracterización físico-mecánica de materiales y participación de usuarios con discapacidad visual en procesos de validación. Esta orientación permitiría transformar los hallazgos de la revisión en criterios aplicables al desarrollo de instrumentos musicales inclusivos y sostenibles.

Matrices de síntesis de la revisión sistemática

Para garantizar la trazabilidad de la evidencia, la matriz principal fue depurada separando las fuentes metodológicas de los estudios que aportaron evidencia temática. En consecuencia, Page et al. (2021), Higgins et al. (2024), Bramer et al. (2018), Peters et al. (2020) y Popay et al. (2006) no se incorporan como estudios temáticos incluidos. Estas referencias sustentan el procedimiento de revisión, mientras que la siguiente matriz concentra las investigaciones utilizadas para construir la síntesis de resultados.

Tabla 1.

Matriz de estudios científicos incluidos y contribución a la revisión

Referencia	Objeto de estudio	Principal aporte identificado	Dimensión de síntesis
Viala et al. (2021)	Guitarra española	Modelización del comportamiento acústico y relación entre características constructivas y respuesta sonora	Acústica
Deng et al. (2022)	Bambú	Tratamiento térmico y mejora del comportamiento de vibración acústica	Materiales/acústica
Deng et al. (2023)	Bambú	Relación entre estructura, composición química y desempeño acústico	Materiales/acústica
Rezaur et al. (2022)	Angklung	Caracterización vibroacústica, afinación y respuesta vibratoria	Acústica
Quintavalla et al. (2022)	Materiales para tablas armónicas	Propiedades elásticas, ortotropía y amortiguamiento	Materiales
Elie et al. (2022)	Tabla armónica de piano	Modelización y síntesis físico-acústica aplicada al diseño	Acústica/modelización
Resch et al. (2022)	Trompeta	Influencia de la geometría en la propagación tridimensional del sonido	Acústica
Ackermann et al. (2024)	Instrumentos musicales	Dinámica de las fuentes sonoras, radiación y directividad	Acústica

Referencia	Objeto de estudio	Principal aporte identificado	Dimensión de síntesis
Calvano et al. (2023)	Guitarras acústicas	Uso, procedencia y sostenibilidad de maderas	Sostenibilidad
Wegst (2006)	Madera para sonido	Relación entre propiedades de la madera y aplicaciones acústicas	Materiales/sostenibilidad
Wegst (2008)	Bambú y madera	Propiedades materiales y aplicaciones en instrumentos musicales	Materiales/sostenibilidad
Pino (2022)	Docentes de música	Percepciones y preparación docente para inclusión visual	Inclusión
Pino et al. (2022)	Aula de música	Recursos y adaptación de prácticas pedagógicas	Inclusión
Sánchez Sánchez y Muñoz Sánchez (2020)	Conservatorios de música	Formación y condiciones de inclusión de estudiantes con discapacidad visual	Inclusión
Sánchez Sánchez y Muñoz Sánchez (2022)	Músicos ciegos	Instrumentos demandados, agrupaciones y dificultades de participación	Inclusión
Gaitán Lozano y Reina Zambrano (2024)	MetroSonus	Tecnología para formación y dirección de músicos con discapacidad visual	Inclusión/tecnología
Xin et al. (2023)	Enseñanza de piano a niños ciegos	Estrategias educativas, percepciones y condiciones de aprendizaje	Inclusión

Nota. Elaboración propia a partir de los estudios incluidos en la revisión. Las categorías representan la dimensión predominante de cada investigación; algunos estudios aportan evidencia transversal a más de una dimensión.

Tabla 2.

Matriz de síntesis temática de la evidencia

Categoría	Evidencia convergente	Limitación identificada	Implicación para la investigación
Acústica	La respuesta sonora puede caracterizarse mediante variables físicas, espectrales, modales y de radiación	Diferencias entre instrumentos y condiciones experimentales	Establecer protocolos objetivos de medición
Caracterización objetiva	FFT, modelización y análisis modal permiten complementar la evaluación perceptual	Los métodos poseen alcances y niveles de complejidad diferentes	Combinar técnicas según el objetivo del prototipo
Madera y bambú	Propiedades físicas y mecánicas condicionan la respuesta vibratoria	No existe un material universalmente superior	Comparar materiales mediante criterios acústicos y mecánicos
Sostenibilidad	La procedencia y disponibilidad de materiales deben incorporarse a la selección	La sostenibilidad no siempre se relaciona con desempeño acústico	Integrar trazabilidad y desempeño en la decisión constructiva
Inclusión	Persisten barreras pedagógicas, materiales y de acceso a la información	Escasean soluciones diseñadas desde la perspectiva del usuario	Incorporar accesibilidad desde el diseño
Tecnología	Recursos digitales y multimodales pueden favorecer autonomía	Evidencia limitada sobre diseño instrumental accesible	Explorar retroalimentación auditiva y háptica
Integración	Las tres dimensiones poseen fundamentos científicos independientes	Pocos estudios articulan simultáneamente	Desarrollar modelos interdisciplinarios de diseño y validación

Nota. Elaboración propia a partir de la síntesis temática de los estudios incluidos.

Tabla 3.

Matriz de vacíos y oportunidades de investigación

Vacío identificado	Evidencia de la revisión	Oportunidad de investigación
Escasa integración interdisciplinaria	Los estudios se concentran en acústica, materiales o inclusión de manera separada	Diseñar estudios que integren las tres dimensiones
Limitada validación experimental conjunta	Predominan investigaciones especializadas	Evaluar prototipos mediante protocolos multidimensionales
Muestras y contextos específicos	Diversos estudios analizan instrumentos o poblaciones particulares	Ampliar muestras y contextos educativos y musicales
Poca participación del usuario en el diseño instrumental	La inclusión se aborda principalmente desde la enseñanza	Incorporar usuarios con discapacidad visual en la validación
Insuficiente seguimiento	Predominan evaluaciones puntuales	Realizar estudios longitudinales sobre desempeño y durabilidad
Relación incompleta entre sostenibilidad y acústica	Se estudian propiedades materiales y ambientales por separado	Comparar alternativas considerando simultáneamente impacto y desempeño

Nota. Elaboración propia a partir de los vacíos identificados mediante la síntesis crítica de la literatura.

DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión sistemática evidenciaron que la investigación contemporánea sobre instrumentos musicales presenta avances significativos en la caracterización acústica, la investigación de materiales sostenibles y el desarrollo de estrategias inclusivas; sin embargo, estos campos continúan desarrollándose predominantemente de manera independiente. Esta fragmentación constituye uno de los principales hallazgos de la revisión, debido a que los estudios analizados aportan soluciones específicas para comprender el comportamiento vibratorio, seleccionar materiales o mejorar la participación de personas con discapacidad visual, pero son menos frecuentes las investigaciones que integran simultáneamente estas dimensiones. En este sentido, la evidencia revisada permite sostener que la innovación instrumental requiere superar una concepción exclusivamente acústica del instrumento y avanzar hacia modelos interdisciplinarios de diseño, evaluación y uso.

Discusión sobre los fundamentos acústicos

Los resultados relacionados con acústica coinciden en señalar que la calidad sonora de un instrumento depende de la interacción entre múltiples variables físicas y estructurales, y no exclusivamente de la frecuencia fundamental. Viala et al. (2021) demostraron la utilidad de la modelización para relacionar características constructivas con el comportamiento acústico, mientras que Rezaur et al. (2022) evidenciaron la importancia de parámetros vibroacústicos en un instrumento elaborado con bambú. Estos hallazgos son consistentes con Ackermann et al. (2024), quienes plantearon que los instrumentos deben comprenderse como fuentes sonoras dinámicas cuya radiación y directividad pueden variar durante la ejecución. En consecuencia, la evaluación de un instrumento requiere considerar tanto la generación como la transmisión y radiación del sonido.

Esta perspectiva tiene una implicación metodológica importante para la construcción de prototipos. La afinación constituye una condición necesaria, pero no suficiente, para establecer

la calidad acústica de un instrumento, puesto que dos instrumentos con una frecuencia fundamental equivalente pueden presentar diferencias sustanciales en contenido armónico, resonancia, intensidad o comportamiento temporal. Por ello, los resultados respaldan la utilización complementaria de indicadores espectrales y vibratorios. La evidencia de Viala et al. (2021) y Rezaur et al. (2022) permite interpretar la medición objetiva como un mecanismo para reducir la dependencia exclusiva de valoraciones perceptuales y favorecer comparaciones reproducibles entre prototipos.

Discusión sobre la caracterización objetiva

La revisión mostró una convergencia entre diferentes estudios respecto al potencial de las herramientas computacionales y de medición para apoyar el diseño acústico. Viala et al. (2021), Elie et al. (2022) y Resch et al. (2022) utilizaron aproximaciones de modelización para estudiar diferentes instrumentos y componentes, aunque desde problemas acústicos específicos. Esta diversidad demuestra que no existe una única técnica capaz de explicar integralmente el comportamiento de un instrumento. Mientras el análisis espectral permite observar la distribución de componentes frecuenciales, la modelización y el análisis modal permiten aproximarse a las relaciones entre estructura, geometría, materiales y vibración.

La principal aportación de esta evidencia consiste en mostrar que la caracterización objetiva puede constituir un puente entre la construcción artesanal y la evaluación científica. Sin embargo, los resultados también permiten advertir que una mayor sofisticación tecnológica no implica necesariamente una mejor evaluación si las variables seleccionadas no responden al propósito del estudio. Por ello, la aplicación de FFT, análisis modal o simulación numérica debe estar determinada por preguntas de investigación concretas y por las características del instrumento analizado. Esta consideración resulta especialmente relevante en contextos educativos o de producción de prototipos, donde la metodología debe mantener un equilibrio entre precisión, accesibilidad técnica y reproducibilidad.

Discusión sobre madera, bambú y desempeño acústico

Los resultados relativos a materiales muestran una relación consistente entre las propiedades físico-mecánicas y el comportamiento acústico. Deng et al. (2022) y Deng et al. (2023) evidenciaron que el bambú presenta características estructurales y químicas susceptibles de influir en su desempeño vibratorio, mientras que Quintavalla et al. (2022) destacaron la importancia de las propiedades elásticas y de amortiguamiento en materiales destinados a tablas armónicas. Estos resultados coinciden con la perspectiva de Wegst (2006, 2008), según la cual las propiedades materiales deben analizarse en función de su relación con la producción y transmisión del sonido. Por tanto, la elección de un material para fabricar instrumentos no puede fundamentarse exclusivamente en disponibilidad o apariencia.

No obstante, la evidencia también permite establecer una diferencia entre la posibilidad de utilizar un material alternativo y la demostración de su equivalencia acústica. El potencial del bambú como recurso para determinados instrumentos no significa que pueda sustituir universalmente a las especies maderables tradicionales. Deng et al. (2022) mostraron precisamente la importancia de las condiciones de tratamiento para modificar su comportamiento, mientras que Deng et al. (2023) profundizaron en los mecanismos estructurales y químicos relacionados con su respuesta. En consecuencia, la sustitución material debe sustentarse en caracterización experimental y no solamente en argumentos de disponibilidad, renovación o menor impacto ambiental.

Discusión sobre sostenibilidad

La dimensión ambiental de los resultados adquiere especial importancia debido a que la fabricación de instrumentos de cuerda mantiene una relación estrecha con el uso de determinadas especies de madera. Calvano et al. (2023) evidenciaron la necesidad de considerar la sostenibilidad de las maderas utilizadas en guitarras acústicas, mientras que Wegst (2006, 2008) mostró que las propiedades que hacen atractivos determinados

materiales para aplicaciones musicales también deben ser consideradas al analizar alternativas. Esta relación revela una tensión entre tradición constructiva, desempeño acústico y disponibilidad sostenible de recursos. En consecuencia, una estrategia de sostenibilidad efectiva no debería limitarse a reemplazar materiales, sino evaluar comparativamente su procedencia, propiedades y comportamiento.

Desde una perspectiva crítica, los resultados sugieren que sostenibilidad y calidad acústica deben tratarse como dimensiones complementarias y no como objetivos contrapuestos. Un material renovable que no alcance las características funcionales requeridas puede generar nuevos problemas constructivos, mientras que la utilización exclusiva de materiales tradicionales puede incrementar presiones sobre recursos naturales. La evidencia sobre bambú y madera permite, por tanto, plantear un enfoque de selección material basada en evidencia, donde los criterios ambientales sean evaluados junto con densidad, rigidez, amortiguamiento, estabilidad y respuesta acústica. Esta integración representa una oportunidad para desarrollar procesos de fabricación más responsables sin desvincular la sostenibilidad de la función musical.

Discusión sobre inclusión y discapacidad visual

Los resultados correspondientes a inclusión evidenciaron que las barreras para las personas con discapacidad visual no se explican únicamente por sus características individuales, sino también por la forma en que están diseñados los entornos, materiales y procesos de enseñanza musical. Pino (2022) identificó la importancia de la preparación docente para responder adecuadamente a estudiantes con discapacidad visual, mientras que Pino et al. (2022) destacaron la necesidad de adaptar recursos y prácticas pedagógicas. De manera complementaria, Sánchez Sánchez y Muñoz Sánchez (2020, 2022) mostraron que las dificultades también se extienden a la formación especializada y a la práctica profesional de músicos ciegos. En conjunto, estos estudios respaldan una concepción de la inclusión basada en la eliminación de barreras de acceso y participación.

Un aspecto particularmente relevante es que la literatura revisada permite ampliar el concepto de adaptación. Adaptar materiales después de que el instrumento ha sido construido puede resolver parcialmente determinadas necesidades, pero no necesariamente garantiza autonomía, seguridad o facilidad de interacción. Los resultados sugieren que la accesibilidad debería incorporarse desde las primeras fases de concepción del instrumento, considerando elementos perceptibles mediante el tacto, referencias auditivas y mecanismos de interacción comprensibles para usuarios con diferentes capacidades sensoriales. Desde esta perspectiva, la inclusión deja de ser una modificación posterior y se convierte en un criterio de diseño.

Tecnología, accesibilidad y autonomía

Los estudios de Gaitán Lozano y Reina Zambrano (2024) y Xin et al. (2023) permiten complementar la discusión al mostrar que las tecnologías y estrategias pedagógicas pueden ampliar las posibilidades de participación de personas con discapacidad visual. La propuesta MetroSonus evidencia el potencial de herramientas orientadas a facilitar procesos de formación y dirección musical, mientras que la investigación sobre enseñanza del piano a niños ciegos muestra la relevancia de considerar sus experiencias y necesidades durante el aprendizaje. Estos resultados respaldan la utilización de tecnologías capaces de proporcionar información mediante canales alternativos a la representación visual.

Sin embargo, la revisión también identificó una limitación importante: la mayor parte de la evidencia tecnológica encontrada se concentra en enseñanza, formación o participación musical, y existe menor desarrollo respecto de tecnologías aplicadas directamente al diseño y construcción de instrumentos accesibles. Esta diferencia constituye uno de los principales espacios para futuras investigaciones. El desarrollo de sistemas de retroalimentación auditiva o háptica integrados en instrumentos podría contribuir no solo al aprendizaje, sino también a procesos de afinación, ajuste, reconocimiento de posiciones o control de parámetros musicales. La incorporación de estas posibilidades debería evaluarse experimentalmente con

usuarios, evitando asumir que una tecnología es inclusiva únicamente por utilizar interfaces digitales.

Convergencia entre acústica, sostenibilidad e inclusión

La principal contribución conceptual de la revisión se encuentra en la identificación de una convergencia posible entre tres campos que la literatura suele abordar separadamente. La acústica proporciona procedimientos para determinar si un instrumento cumple determinadas condiciones de frecuencia, espectro, resonancia o radiación; la ciencia de materiales permite estudiar alternativas considerando propiedades físico-mecánicas y sostenibilidad; y la investigación educativa e inclusiva aporta criterios para favorecer la participación de personas con discapacidad visual. La articulación de estos componentes permite formular una concepción más amplia del instrumento musical, entendido simultáneamente como objeto acústico, producto material y recurso cultural y educativo.

Esta integración, no obstante, debe interpretarse como una propuesta derivada de la síntesis de la evidencia, y no como una conclusión experimental de los estudios revisados. La literatura disponible no permite afirmar que exista actualmente un modelo consolidado que integre las tres dimensiones bajo un único protocolo de validación. Lo que sí demuestra es que existen fundamentos científicos suficientes para construirlo. En consecuencia, una futura línea de investigación podría evaluar prototipos mediante indicadores acústicos objetivos, caracterización físico-mecánica y ambiental de los materiales y pruebas de accesibilidad con usuarios. Este enfoque permitiría trasladar la evidencia fragmentada hacia un modelo experimental integrado.

Implicaciones para futuras investigaciones

Los vacíos identificados muestran la necesidad de estudios con diseños experimentales y muestras suficientemente amplias para comprobar la estabilidad de las relaciones propuestas. La literatura revisada ofrece evidencia sólida sobre aspectos particulares, pero presenta menor información acerca del comportamiento simultáneo de materiales sostenibles, parámetros acústicos y condiciones de accesibilidad. Por ello, futuras investigaciones deberían incorporar protocolos reproducibles, grupos de comparación y criterios previamente definidos para evaluar el desempeño de los prototipos. Asimismo, la participación directa de personas con discapacidad visual permitiría valorar la funcionalidad de las soluciones desde la experiencia real del usuario.

En términos generales, la discusión permite sostener que la innovación en instrumentos musicales puede beneficiarse de un cambio de enfoque: pasar de evaluar únicamente cómo suena un instrumento a analizar también con qué se construye, cómo se comporta, quién puede utilizarlo y bajo qué condiciones puede hacerlo de manera autónoma. La integración de estas preguntas no elimina la importancia de la tradición organológica ni de la calidad acústica, sino que amplía sus posibilidades mediante herramientas científicas, criterios ambientales y principios de accesibilidad. El principal desafío consiste ahora en transformar esta convergencia conceptual en procedimientos experimentales verificables y aplicables a contextos concretos de formación y producción musical.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática permitió concluir que la investigación contemporánea sobre instrumentos musicales ha generado evidencia relevante en tres campos principales: caracterización acústica, utilización sostenible de materiales e inclusión de personas con discapacidad visual. Los estudios analizados demostraron que variables como frecuencia, contenido armónico, resonancia, intensidad, propiedades mecánicas y comportamiento vibratorio pueden ser evaluadas mediante procedimientos objetivos. Sin embargo, la evidencia continúa fragmentada y se concentra en problemas específicos de instrumentos, materiales o contextos educativos, sin una integración sistemática de las tres dimensiones.

En relación con la acústica, se concluyó que la evaluación objetiva mediante análisis espectral, FFT, modelización y análisis modal constituye una alternativa pertinente para complementar la valoración perceptual del sonido. Los resultados revisados muestran que el desempeño acústico depende de la interacción entre geometría, materiales, condiciones estructurales y características de excitación. Por ello, los procesos de construcción y validación de instrumentos requieren protocolos que permitan relacionar las propiedades físicas del instrumento con sus respuestas acústicas, favoreciendo la reproducibilidad y comparación de resultados.

Respecto a la sostenibilidad, la evidencia permitió concluir que la selección de materiales debe considerar conjuntamente disponibilidad, procedencia, propiedades físico-mecánicas y comportamiento acústico. El bambú representa una alternativa de interés para determinadas aplicaciones, pero su utilización no debe plantearse como sustitución automática de las maderas tradicionales. Los estudios revisados indican que los tratamientos y características estructurales del material pueden modificar significativamente su respuesta vibratoria. En consecuencia, la sostenibilidad debe integrarse mediante procesos comparativos y experimentales que permitan demostrar simultáneamente viabilidad ambiental y funcional.

En cuanto a la inclusión, se concluyó que las personas con discapacidad visual enfrentan barreras relacionadas con materiales, metodologías, acceso a información y condiciones de participación musical. La evidencia respalda la incorporación de recursos táctiles, auditivos y tecnológicos, así como una mayor preparación docente. No obstante, la revisión identificó que la accesibilidad suele abordarse desde la adaptación educativa y no desde el diseño original del instrumento. Esto evidencia la necesidad de incorporar principios de accesibilidad desde las primeras etapas de concepción, construcción y evaluación.

Finalmente, la principal conclusión de la revisión es que existe una oportunidad científica para desarrollar un enfoque interdisciplinario que articule acústica, sostenibilidad e inclusión dentro de un mismo proceso de diseño y validación de instrumentos musicales. Aunque la literatura ofrece fundamentos suficientes para cada dimensión, son todavía limitados los estudios que las integran experimentalmente. Se recomienda, por tanto, desarrollar investigaciones con prototipos, muestras mayores, protocolos acústicos reproducibles, caracterización de materiales y participación directa de personas con discapacidad visual. Esta línea permitiría transformar la evidencia existente en soluciones instrumentales sostenibles, funcionales y accesibles.

Reconocimiento

Se expresa un especial reconocimiento a los docentes de la carrera de Educación Musical del Instituto Superior Tecnológico Jubones, por su compromiso permanente con la formación musical, su aporte académico y pedagógico y su disposición para promover procesos de innovación orientados al fortalecimiento de la educación musical. Su experiencia, acompañamiento y contribuciones al desarrollo de iniciativas interdisciplinarias constituyen un referente significativo para continuar impulsando investigaciones que vinculen la práctica musical con la innovación, la sostenibilidad, la accesibilidad y la participación educativa. A todos ellos se extiende un sincero agradecimiento por contribuir al fortalecimiento de una formación musical abierta a las necesidades y desafíos de la sociedad contemporánea.

Conflicto de interés

El autor declara que no existen conflictos de interés que puedan haber influido en el diseño, desarrollo, análisis, interpretación de los resultados o redacción del presente artículo. Asimismo, manifiestan que el trabajo fue desarrollado con independencia académica y científica, sin intereses financieros, institucionales o personales que condicionaran las conclusiones de la revisión.

REFERENCIAS

- Ackermann, D., Brinkmann, F., & Weinzierl, S. (2024). Musical instruments as dynamic sound sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 155(4), 2302–2313. <https://doi.org/10.1121/10.0025463>
- Adler, G. (1885). Umfang, Methode und Ziel der Musikwissenschaft. *Vierteljahrsschrift für Musikwissenschaft*, 1, 5–20. <https://hdl.handle.net/1802/14660>
- Bramer, W. M., de Jonge, G. B., Rethlefsen, M. L., Mast, F., & Kleijnen, J. (2018). A systematic approach to searching: An efficient and complete method to develop literature searches. *Journal of the Medical Library Association*, 106(4), 531–541. <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.283>
- Calvano, S., Negro, F., Ruffinatto, F., Zanuttini-Frank, D., & Zanuttini, R. (2023). Use and sustainability of wood in acoustic guitars: An overview based on the global market. *Heliyon*, 9(4), e15218. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15218>
- Deng, L., Chen, F., Ren, X., & Jiang, Z. (2022). An environmentally friendly and efficient method to improve the acoustic vibration performance of bamboo for musical instruments: Nitrogen-protected heat treatment. *Industrial Crops and Products*, 188, 115554. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115554>
- Deng, L., Xu, H., Chen, F., Liu, X., & Jiang, Z. (2023). Scientific mechanism of bamboo acoustic vibration performance from structure-chemical perspective. *Industrial Crops and Products*, 199, 116785. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116785>
- Elie, B., Cotté, B., & Boutillon, X. (2022). Physically-based sound synthesis software for computer-aided-design of piano soundboards. *Acta Acustica*, 6, 30. <https://doi.org/10.1051/aacus/2022024>
- Gaitán Lozano, D. F., & Reina Zambrano, J. (2024). MetroSonus. Una alternativa incluyente para la formación y la dirección de músicos con discapacidad visual. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical - RECIEM*, 21, 119–148. <https://doi.org/10.5209/reciem.86373>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2), e1230. <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Hamdan, S., Rahman, M. R., Zainal Abidin, A. S., & Musib, A. F. (2022). "Study on vibro-acoustic characteristics of bamboo-based angklung instrument," *BioResources* 17(1), 1670–1679.
- Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (Eds.). (2024). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (Version 6.3). Cochrane. <https://training.cochrane.org/handbook>
- Magnusson, T. (2019). *Sonic writing: Technologies of material, symbolic, and signal inscriptions*. Bloomsbury Academic. <https://doi.org/10.5040/9781501313899>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*, 18(3), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>

- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis*, 18(10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Pino, Á. (2022). Facing the challenges of the inclusion of visually impaired students: Music teacher's perceptions. *International Journal of Music Education*, 40(2), 288–300. <https://doi.org/10.1177/02557614211050987>
- Pino, Á., Rodríguez-Rossell, C., & Viladot, L. (2022). 'How can I include them?': Teaching pupils with visual impairment in the inclusive music classroom. *Didacticae*, 12, 124–137. <https://doi.org/10.1344/did.2022.12.124-137>
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., Britten, N., Roen, K., & Duffy, S. (2006). *Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews: A product from the ESRC Methods Programme*. Lancaster University. <https://doi.org/10.13140/2.1.1018.4643>
- Quintavalla, M., Gabrielli, F., & Canevari, C. (2022). Grading materials for stringed instruments soundboards: An approach considering the orthotropic elastic and damping properties. *Applied Acoustics*, 187, 108521. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108521>
- Resch, J., Krivodonova, L., & Vanderkooy, J. (2022). Three-dimensional simulations of sound propagation in a trumpet with accurate mouthpiece shank geometry. *Applied Acoustics*, 200, 109045. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109045>
- Sánchez Sánchez, L., & Muñoz Sánchez, P. (2020). La formación de alumnado con discapacidad visual en el marco de los conservatorios de música en España. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical - RECIEM*. <https://doi.org/10.5209/reciem.66689>
- Sánchez Sánchez, L., & Muñoz Sánchez, P. (2022). La práctica musical de los ciegos: Agrupaciones musicales en España y en el extranjero, instrumentos demandados y dificultades de los músicos invidentes. *Cuadernos de Investigación Musical*, 16, 67–84. <https://doi.org/10.18239/invesmusic.2022.16.04>
- Viala, R., Pérez, M. A., Placet, V., Manjón, A., Foltête, E., & Cogan, S. (2021). Towards model-based approaches for musical instruments making: Validation of the model of a Spanish guitar soundboard and characterization features proposal. *Applied Acoustics*, 172, 107591. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107591>
- Von Hornbostel, E. M., & Sachs, C. (1914). Systematik der Musikinstrumente: Ein Versuch. *Zeitschrift für Ethnologie*, 46, 553–590. <https://books.google.com/books?id=eE1QwoY2EnEC>
- Wegst, U. G. K. (2006). Wood for sound. *American Journal of Botany*, 93(10), 1439–1448. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.10.1439>
- Wegst, U. G. K. (2008). Bamboo and wood in musical instruments. *Annual Review of Materials Research*, 38, 323–349. <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.38.060407.132459>
- Xin, J., Chiew Poon, C. H., Cooper, S., & Cheong, K. W. (2023). Teaching piano to blind children: An analysis of positive perceptions based on PERMA framework in Qingdao, China. *Harmonia: Journal of Arts Research and Education*, 23(2). <https://doi.org/10.15294/harmonia.v23i2.43468>