

metroSonus. Una alternativa incluyente para la formación y la dirección de músicos con discapacidad visual Juanita Reina Zambrano; Diego Felipe Gaitán Lozano¹

Juanita Reina Zambrano

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO (Colombia) ✉ 

Diego Felipe Gaitán Lozano

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO (Colombia) ✉ 

<https://dx.doi.org/10.5209/reciem.86373>

Recibido: 4 de febrero de 2023 • Aceptado: 22 de junio de 2023.

Resumen: MetroSonus surge como resultado de una investigación que tiene como propósito la creación de una propuesta para el desarrollo de una herramienta tecnológica que propende por la inclusión de personas con discapacidad visual en los espacios de formación musical, ya sea como aprendiz, como músico parte de un ensamble o como orientador o director. Esta herramienta pedagógica transmite el pulso del director de orquesta a dispositivos móviles en red, con el fin de apoyar los procesos de enseñanza aprendizaje, así como de interpretación de la música. La orientación metodológica de este proyecto se encuentra apoyada, desde el enfoque cualitativo, en la propuesta de Investigación Praxeológica desarrollada por UNIMINUTO, que tiene como eje la reflexión sobre la práctica y a la vez delimita el proceso investigativo en cuatro momentos: Ver, Juzgar, Actuar, y Devolución creativa. Este proyecto de investigación plantea nuevos desafíos y exigencias de formación en las diversas áreas, que fueron exploradas para el desarrollo de metroSonus, así como también en el campo de la educación inclusiva y en aquellas que se hacen necesarias para dar continuidad a este proyecto, como es el caso del computer vision, el machine learning y la inteligencia artificial.

Palabras clave: música; inclusión; ceguera; discapacidad visual; tecnología; aplicación web.

ENG metroSonus. An Inclusive Alternative for the Training and Direction of Visually Impaired Musicians.

Abstract: metroSonus is the result of a study that proposed the development of a technological tool that promotes the inclusion of visually impaired people in musical training spaces, either as students, ensemble musicians, teachers, or conductors. This pedagogical tool transmits the orchestra conductor's pulse to networked mobile devices to support the teaching-learning processes, as well as music interpretation. From the qualitative approach, the methodological orientation of this project is based on the praxeological research proposal developed by UNIMINUTO, which focuses on the reflection on practice by dividing the research process into four stages: observation, judgment, action, and creative feedback. This project poses new challenges and training requirements in the various areas that were explored for the development of metroSonus, as well as in the field of inclusive education and in areas that are necessary to continue this project, such as computer vision, machine learning, and artificial intelligence.

Keywords: music; inclusion; blindness; visual impairment; technology; web application.

Sumario: 1. Introducción. 2. Diseño y método. 3. Trabajo de campo y análisis de datos. 4. Resultados. 5. Discusión y conclusiones. 6. Referencias.

¹ Este artículo forma parte del proyecto homónimo, ganador de la convocatoria Investigación/creación para el desarrollo de materiales pedagógicos o musicales, financiada por el Programa Nacional de Estímulos Portafolio 2021 del Ministerio de Cultura de Colombia.

Cómo citar: Reina-Zambrano J.; Gaitán-Lozano D. (2024) MetroSonus. Una alternativa incluyente para la formación y la dirección de músicos con discapacidad visual, en *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 21, 119-133. <https://dx.doi.org/10.5209/reciem.86373>

1. Introducción

La educación como eje transformador de las culturas y las sociedades, plantea grandes retos, que se traducen en desafíos para los sistemas educativos. Gracias a los cambios acaecidos en el último siglo, donde el afianzamiento de propuestas educativas que retornan a su carácter humano y social toman fuerza, se enmarca el surgimiento de necesidades desde propósitos favorecedores del desarrollo de sociedades más democráticas, participativas y plurales, que permitan comprender y abordar las causas y consecuencias de las exclusiones emergentes a nivel cultural y sistémico, establecidas en las vidas de los sujetos y que dificultan o imposibilitan su acceso a la educación.

Pensar en una educación para todos, remite directamente a la ideación y realización de cambios que sobrepasen las visiones centradas en la normatividad, las políticas o el déficit, en aras del fortalecimiento de los procesos pedagógicos, para consolidar culturas participativas que promuevan el reconocimiento del otro desde concepciones epistémicas, justas, equitativas y horizontales.

Lo anterior obliga a pensar en el fortalecimiento de prácticas que propendan por la construcción de procesos participativos, bajo las mismas oportunidades en cuanto a recursos, materiales, estrategias, que velen por la participación de todos los sujetos y así evitar su exclusión, independientemente de su sexo, condición económica o social, origen étnico o racial, situación geográfica, necesidades especiales de aprendizaje, edad, religión, logros y/o capacidades (UNESCO, 2008). De esta forma la inclusión educativa se abre como una posibilidad de transformación sobre las maneras de sentir, actuar, pensar, pero especialmente sobre las formas de cómo nos concebimos, reconocemos e identificamos dentro de los colectivos sociales y culturales.

Bajo este contexto general, surge el proyecto de investigación denominado *metroSonus* que tiene como propósito la creación de una propuesta para el desarrollo de una herramienta tecnológica que propende por la inclusión de personas con discapacidad visual en los espacios de formación musical, para facilitar no solo su desempeño como aprendiz o como músico parte de un ensamble, sino también como orientador o director. En este artículo se evidencian los resultados alcanzados con la implementación del dispositivo, así como las conclusiones recopiladas gracias al desarrollo de este proceso de investigación.

1.1. Acerca de los estudios de la discapacidad en la educación

El análisis del concepto teórico acerca de la discapacidad da cuenta de una variedad de abordajes enmarcados en diferentes perspectivas, asumidas desde diversos campos o disciplinas de estudio. Estas miradas permiten identificar lo complejo y controvertido que puede ser llegar a un consenso sobre este. Los avances en sus comprensiones han girado en torno a lo místico, religioso, médico, para transitar hoy en día a comprensiones de tipo social, cultural y antropológico, que permiten elaborar abordajes amplios descentrados del déficit biológico del sujeto, para concentrarse en la complejidad de fenómenos sociales y culturales que se intersectan al momento de establecer nociones alrededor de la discapacidad.

En esta investigación el concepto de discapacidad se encuentra soportado en los Estudios de la Discapacidad en Educación (Disabilities Studies in Education DSE) como marco teórico para conceptualizarla desde perspectivas educativas. Baglieri et al., (2011), explica que esta mirada permite situar la discapacidad a través de las expectativas e interacciones humanas en un contexto social e indica que la discapacidad es variable y puede cambiar con el tiempo. Además, agrega que las interpretaciones sociales de la discapacidad están influenciadas por construcciones raciales e intersecciones sobre la raza y la habilidad, que minorizan a muchos estudiantes.

Bajo esta perspectiva la identificación de la discapacidad es una respuesta social y políticamente construida de diferencias reales o percibidas, DSE trabaja desde un modelo social que examina las posibilidades, limitaciones culturales e intereses políticos que configuran las diferencias en discapacidades (Collins et al., 2016). De esta forma, el concepto de discapacidad hace referencia no solamente a las personas que tienen algún tipo de discapacidad física, la identidad sexual, de raza, género, clase, etnia, son otras formas de marginalización de los cuerpos, marcadas por las inequidades capacitistas. Las perspectivas deficitarias de raza, discapacidad, género, clase, sexualidad, y lenguaje dan cuenta cómo la capacidad y la discapacidad es definida y utilizada para desplazar a las personas a entornos educativos marginados, excluyentes e incluso abusivos. Estas creencias culturales acerca de la discapacidad y las diferencias dan cuenta también de las prácticas de enseñanza y las políticas educativas que están siendo analizadas en los últimos tiempos (Valente & Collins, 2016).

A manera de resumen, para Connor (2019), los principios esenciales de los DSE, se concentran en contextualizar la discapacidad dentro de las esferas políticas y sociales, privilegia el interés, las agendas y voces de las personas rotuladas con una discapacidad, promueve la justicia social y las oportunidades de una educación equitativa e inclusiva y rechaza los modelos deficitarios para asumir la discapacidad. Otro principio clave hace referencia a que los espacios físicos, los entornos y las prácticas necesitan ser cambiadas para favorecer el acceso a la educación de los estudiantes con discapacidad y no que sean las personas quienes deban realizar labores o tareas extra para adaptarse a espacios inaccesibles (Vidarte et al., 2022).

1.2. Acerca de la inclusión educativa y los Estudios de Discapacidad en Educación

En este apartado se aborda la relación entre la educación inclusiva y los DSE, desde donde se plantea la descentralización de la epistemología y ontología predominantes, así como la decolonización del concepto de “normal” que racializa y capacita las cuerpos, mentes y espíritus. Estas estructuras que internalizan las opresiones y violencias traen impactos políticos sociales y culturales, que se manifiestan al interior de las instituciones y discursos y conllevan consecuencias a nivel material y emocional que conducen a la exclusión (Figuroa & Hernandez-Saca, 2021).

Específicamente en el campo educativo, autores sobre los DSE (Clough & Corbett, 2000; Cosier et al., 2002; Ryndak, 2014), promueven los entornos totalmente inclusivos, ya que han demostrado ser muy beneficiosos para los estudiantes no solo a nivel académico, sino también a nivel social. Se promueve entonces el acceso integrado a los currículos, en detrimento de los currículos separados o funcionales. Gracias al movimiento de la inclusión se ha logrado que el 90% de los niños y niñas se encuentren en entornos educativos generales, por lo menos la mayor parte del día (Bacon & Blachman, 2017).

Existen tensiones notorias frente a los conceptos y las prácticas en torno a la inclusión; las políticas educativas comúnmente direccionan los horizontes pedagógicos, sin embargo, las normativas y/o directrices ministeriales se descontextualizan al momento de aterrizar en las realidades escolares particulares y son tomadas por los administradores o los docentes como imposiciones tecnocráticas que no permiten avanzar en las necesarias reformas estructurales y epistémicas al interior de los sistemas educativos, lo que trae como consecuencia prácticas que resultan en nuevas exclusiones al interior de los mismos.

Los DSE permiten develar el mito de la “normalidad” que permanece arraigada a las prácticas educativas y producto de esto, el de la discapacidad, opuesta a la normalidad, como horizonte que demarca el cómo debemos educar a los estudiantes. Los estudiantes con discapacidad deberían ser importantes fuentes de conocimiento a cerca de la misma, un posicionamiento desde este enfoque conducirá a una orientación desde la justicia social. Así pues, la inclusión se concibe como un compromiso de adaptar las instrucciones para todos los alumnos (no para unos pocos) y no se centra en la expectativa de que un niño se acomode el statu quo del aula de clases o de las estructuras de la escuela. La Inclusión no es algo que se logre de una vez por todas, sino que debe ganarse continuamente (Ferri, 2015).

1.3. Inclusión, nuevas tecnologías y discapacidad visual, lo que dicen las investigaciones

La UNESCO, en su *Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (ODS 4) de la Agenda 2030* plantea “garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover las oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” al año 2030. Del mismo modo se propone hacer frente a todas las formas de exclusión y marginación, las disparidades y las desigualdades en el acceso, la participación y los resultados de aprendizaje. La UNESCO se compromete a realizar los cambios necesarios en las políticas de educación inclusiva, una manera de garantizar una política de inclusión es la de proveer al maestro con las herramientas para atender las diversas condiciones de las poblaciones que asisten al aula (UNESCO, 2015).

Aunque a nivel mundial existen legislaciones que soportan las políticas referentes a la educación inclusiva, las maneras de concreción en las prácticas pedagógicas suceden de diferentes formas y responden a exigencias de carácter, político, cultural, social y económico, que emergen de manera situada en los diferentes contextos que las enmarcan. Para Karagianni y Drigas (2023), con estas características, dichas prácticas deben ser orientadas bajo principios de diseño universal de manera que provean los recursos educativos necesarios y la infraestructura que asegurará el acceso constante y permanente a la información y el conocimiento. Se requiere de nuevos modelos educativos en las aulas generales donde los objetivos sean pensados para todos los estudiantes, con la implementación de estrategias pedagógicas y de enseñanza que incorporen el uso de nuevas tecnologías para dar respuesta a las diferencias individuales de todos y cada uno.

Desde estos desafíos emergentes surge la propuesta *metroSonus*, nacida de la observación de la práctica pedagógica con docentes en formación en el área de la educación artística, razón que motiva a asumir el reto de pensar constantemente sobre la creación de herramientas pedagógicas que respondan a las necesidades educativas particulares de diferentes poblaciones, en este caso de la población con discapacidad visual.

Lo anterior se consolida como el punto de partida para esta investigación, en torno a la creación de una propuesta para una herramienta tecnológica que propende por la inclusión en los espacios de formación en música, en específico, el reto del que pretende la dirección de un ensamble musical, donde participen intérpretes con discapacidad visual, entendidas estas como las “diversas condiciones oculares y de capacidades visuales” (Caballo & Núñez, 2013, p. 260) que generan desde una pérdida completa de la visión hasta distintos grados de pérdida de esta última, lo que se conoce como baja visión (Gray, 2009).

La búsqueda específica sobre las aportaciones relevantes en este campo de estudio se llevó a cabo bajo la categoría inicial de TIC y discapacidad visual, donde se identificaron investigaciones que aportan con sus resultados a demostrar la importancia del uso de la tecnología en los procesos educativos de las personas con discapacidad visual. Ya en el campo específico del desarrollo de dispositivos con este mismo propósito, solamente se identificó una propuesta similar llamada *Haptic Baton*, descrita más adelante.

Como se mencionó, las investigaciones previas que han sido desarrolladas en esta misma área de estudio, se puede identificar que el uso de herramientas tecnológicas favorece la creación y desarrollo de propuestas pedagógicas para las necesidades particulares del alumnado con discapacidad visual y se constituye en un medio y/o elemento importante al momento de eliminar las barreras de aprendizaje identificadas en los sistemas educativos, que condicionan las oportunidades de los estudiantes para aprender y participar en los centros (Echeita & Navarro, 2014).

Esto se puede constatar gracias a la investigación de enfoque mixto de tipo descriptivo no experimental, titulada *Estrategias Inclusivas Mediada por las TIC para la Formación de Estudiantes con Discapacidad Visual* desarrollada por Castro y Téllez (2022). Gracias a esta investigación que tiene como propósito proponer una serie de estrategias inclusivas mediadas por las TIC, se pudo constatar que las TIC son un medio estratégico de inclusión social para el fortalecimiento de la formación de estudiantes con discapacidad visual. De igual forma se concluye que es de vital importancia la implementación de este tipo de estrategias para responder a una formación integral y de calidad para los estudiantes, ya que son mediadoras de los procesos de aprendizaje, disminuyen las dificultades y les permite participar de manera activa en cualquier entorno para favorecer aprendizajes significativos.

Bajo este mismo tópico de trabajo, la investigación desarrollada por Castellanos (2019), titulada *Estrategias pedagógicas para promover la participación educativa y social de las personas con discapacidad visual mediada por las TIC*, tiene como objetivo proponer estrategias pedagógicas que promuevan la participación educativa y social en personas ciegas mediante el uso de TIC. Gracias a un abordaje socio crítico desde el paradigma cualitativo, el autor pudo concluir que las estrategias contribuyeron a la identificación de problemáticas que limitaban la participación de los estudiantes con discapacidad visual, para alcanzar hábitos de autonomía e independencia que favorecen su participación e interacción activa dentro del contexto escolar. De igual forma las TIC funcionaron como canales de libre expresión que facilitaron la interacción social entre estudiantes y docentes y ayudaron al proceso de formación íntegra y de calidad, lo que influyó de manera positiva en su desempeño académico.

Para finalizar, se referencia el trabajo titulado *Las TIC como herramientas de mediación en las trayectorias educativas de estudiantes con discapacidad visual* Zorz (2019) que tiene como propósito investigar el impacto que tiene la mediación de las TIC en las trayectorias escolares y en el desarrollo, aprendizaje y construcción de la subjetividad de los estudiantes. Desde un abordaje exploratorio, descriptivo, el autor, en consonancia con el estudio anterior, logra concluir que la eliminación de barreras en el entorno es clave para desarrollar la autonomía de las personas, por lo que las condiciones de accesibilidad se tienen que garantizar, y de esta manera, lograr que todos los estudiantes puedan aprovechar al máximo la escolaridad y potenciar sus aprendizajes. Para la autora, la tecnología permite resolver situaciones que anteriormente eran imposibles o inaccesibles, modifican el modo de producir y distribuir el conocimiento y por ende favorecen los procesos de enseñanza – aprendizaje.

Son innumerables las ventajas que pueden traer las tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para favorecer los procesos de aprendizaje en las personas con discapacidad visual, ya que potencian de manera decidida la inclusión y la participación, mejoran la calidad de vida, la construcción de identidades, la garantía de derechos, disminución de brechas en torno a la desigualdad y se minimizan de manera significativa los riesgos de exclusión (Escobar-Morales et al., 2022; Martínez et al., 2022; Parra, 2022; Zambrano-Lozada & Zea-Tibaduiza, 2021).

1.3.1. Educación musical, discapacidad visual y nuevas tecnologías

En este apartado se abordan específicamente las investigaciones en torno a las propuestas tecnológicas, desde diferentes miradas, y su implementación para el fortalecimiento de los procesos de enseñanza aprendizaje, en la educación musical de personas con discapacidad visual. Estas perspectivas, resaltan la relevancia y pertinencia de la problemática tratada en esta investigación, a la vez que presentan la variedad de propuestas creativas que surgen bajo el propósito de buscar alternativas en torno a los procesos de aprendizaje incluyentes para la formación musical de la población con discapacidad visual.

Desde esta perspectiva, Frid (2019) presenta una revisión titulada *Accessible Digital Musical Instruments—A Review of Musical Interfaces in Inclusive Music Practice (Instrumentos musicales digitales accesibles: una revisión de las interfaces musicales en la práctica musical inclusiva)*, expone una reseña de instrumentos musicales digitales accesibles o ADMI por sus siglas en inglés, desde en una revisión sistemática de 113 publicaciones centradas en este tópico. Basados en 83 instrumentos encontrados, se identificaron 10 tipos de interfaces: controladores tangibles, controladores sin contacto, interfaces de música cerebro-computadora (BCMI), instrumentos adaptados, controladores portátiles o prótesis, dispositivos controlados con la boca, controladores de audio, controladores de mirada, controladores de pantalla táctil e interfaces controladas por el ratón. La autora concluye que, si bien la modalidad háptica podría desempeñar un papel importante en la interacción tecnología-educación musical, tan solo 14.5% de los instrumentos encontrados incorporaron retroalimentación vibrotáctil.

Específicamente desde las propuestas de investigación centradas en lo háptico, se identificó, por una parte, el Haptic Baton, un dispositivo de alta tecnología desarrollado por la empresa londinense *Human Instruments*, que consiste en una batuta con diferentes sensores conectados a una pulsera que lleva el director y envía el pulso a un dispositivo receptor que porta el músico con discapacidad visual en alguna parte de su cuerpo (Human Instruments, 2023). Bajo esta misma lógica, se revisó el trabajo de Bajo et al. (2010) titulado *A distributed architecture for facilitating the integration of blind musicians in symphonic orchestras (Una arquitectura distribuida para facilitar la integración de músicos ciegos en orquestas sinfónicas)* que plantea el desarrollo de los que ellos llaman DIAMI, una arquitectura basada en un ambiente inteligente, enfocada a facilitar la integración de músicos con discapacidad visual en orquestas. La arquitectura DIAMI proporciona un sistema para que los músicos con discapacidad visual reciban instrucciones del director de orquesta de una manera discreta. Desde un abordaje sustentado en el diseño, la investigación propone un dispositivo que utiliza un control o mando de la consola de videojuegos *Wii* de Nintendo sujeto a la batuta del director, desde donde se hace uso

del acelerómetro y giroscopio interno para interpretar la intensidad y velocidad del movimiento de su brazo, para convertirlo en señales enviadas vía *Bluetooth* a un receptor de vibraciones en forma de brazalete, diseñado por ellos. Aunque las dos propuestas son muy similares en cuanto a la necesidad vibrotáctil y el concepto general, el abordaje del desarrollo tecnológico difiere en ambas, y si bien, tanto la DIAMI y como el *Haptic Baton* cumplen a cabalidad el propósito para el que fueron diseñados, los posibles costos de los dispositivos (aún no se encuentran a la venta) o las capacidades tecnológicas y económicas para producirlos, reducirían sustancialmente el acceso a este de una gran parte de la población.

Por otra parte, se encontraron investigaciones relativas a la implementación de *software* especializado y metodologías mediadas por la tecnología. Este es el caso de la investigación desarrollada por Gorbunova y Morozov's (2021) que trata sobre la creación y desarrollo de nuevas técnicas de enseñanza de música para personas con discapacidad visual, desde un replanteamiento de los métodos de enseñanza tradicionales y la introducción de tecnologías informáticas musicales o MCT por sus siglas en inglés. El uso de MCT en la educación musical de estudiantes con discapacidad visual pasó de ser una innovación prometedora a una realidad, al expandir las oportunidades para su inclusión. Contenidos teóricos como la teoría musical, la armonía, el contrapunto y el solfeo, que otrora solo se podían impartir de manera verbal, son ahora propuestas innovadoras que utilizan las nuevas tecnologías para acercar a las personas con discapacidad visual a estos contenidos de manera diferente. Tras una revisión documental, la investigación analiza los aspectos de contenido metodológico de la enseñanza de contenidos teóricos de la música utilizando MCT con estudiantes con discapacidad visual profunda en diferentes instituciones en Rusia. Propone un soporte metodológico y de contenido para su enseñanza y determina enfoques metodológicos para implementar este proceso educativo en la práctica artística. La relevancia que tiene la apropiación de contenidos teóricos como el "Arreglo musical por computador" y la "informática musical", tanto para el crecimiento personal, como para la adaptación social de los músicos con discapacidad visual en un entorno educativo de alta tecnología que les supone retos profesionales y sociales, es una de las conclusiones a las que llegan los autores, así como la necesidad de desarrollar nuevas propuestas de *software* especializado para optimizar la educación musical del grupo poblacional en cuestión.

De igual manera, Gorbunova y Voronov (2018) analizaron los procesos realizados alrededor de la transformación del entorno de formación del estudiante con discapacidad visual, en la clase de Tiflotécnica. Desde un estudio de caso, la investigación se encauza en los resultados de la implementación de una metodología desarrollada por el equipo de investigación en un entorno también diseñado por ellos y en el análisis de las particularidades del proceso de aprendizaje y uso de las TIC así como de MCT por parte del estudiantado con discapacidad visual. La investigación concluye que, con las herramientas y el entorno adecuado, los músicos no solo tienen la oportunidad de dominar una serie de programas MCT (Secuenciadores, editores de audio, etc.), sino que, además, estas nuevas tecnologías contribuyen de manera significativa al desarrollo del potencial creativo de la población con discapacidad visual.

Estas búsquedas propiciaron la generación de las primeras preguntas que orientan esta investigación: ¿Cómo crear un espacio inclusivo donde los músicos con y sin discapacidad visual puedan ser dirigidos al mismo tiempo? ¿Es posible crear este espacio mediado por un artefacto tecnológico? ¿Puede este dispositivo garantizar las condiciones de asequibilidad y accesibilidad dentro de un contexto social inclusivo que sea útil para todas las personas?

En este orden de ideas, la investigación se encauza hacia el desarrollo de una propuesta tecnológica que aporte a los procesos de enseñanza aprendizaje de la música de manera efectiva y flexible, para dar respuesta a los requerimientos de la educación inclusiva. De ahí surge la idea de desarrollar un programa capaz de reconocer el pulso marcado por el director y convertir los movimientos de este en pulsos que son enviados a los dispositivos móviles de los músicos con discapacidad visual y transformados en vibración. Así pues, el propósito general de esta investigación se define como:

Diseñar una aplicación web que transmita el pulso del director de orquesta a dispositivos móviles en red, con el fin de apoyar los procesos de enseñanza aprendizaje, así como de interpretación de la música en personas con discapacidad visual.

2. Diseño y Método

Las necesidades emergidas durante el proceso inicial de delimitación del problema de esta investigación permitieron la identificación de dos grandes momentos investigativos, desde donde se orientan y caracterizan los objetivos específicos necesarios para alcanzar el propósito global que lo enmarca. Gracias a la conjunción de abordajes teóricos y empíricos se abordan los momentos metodológicos que conforman esta estrategia que posibilita el estudio del problema identificado en la etapa inicial.

Por una parte, *metroSonus* busca la generación de nuevo conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación a partir de la diversidad de áreas de conocimiento existentes, con estructuras disciplinadas y planificadas en donde la experimentación constante juega un rol importante en la consecución del producto final. La naturaleza de cada momento de la investigación requiere de abordajes metodológicos específicos, razón por la cual serán establecidos de manera particular, sin dejar de conformar un todo investigativo.

De esta forma, anidados desde el paradigma cualitativo, el marco metodológico general se concibe desde el enfoque praxeológico (Juliao, 2011); en esta caso, a su relación directa con las Industrias Creativas y Culturales como contribuyente en la generación del conocimiento, el desarrollo tecnológico, la innovación y la apropiación social del conocimiento dentro de la categoría Ecosistema CTel I+D+i (Investigación + Desarrollo + Innovación), definida por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (MinCiencias, n.d.).

El enfoque praxeológico (Juliao, 2011) se concibe como un proceso que propende por la transformación de la realidad, a partir de la observación, reflexión e indagación constante. La metodología e instrumentos característicos de la praxeología en el trabajo investigativo se redefinen constantemente, con el fin de crear conciencia sobre los elementos reflexionados a lo largo de la misma. Por ende, se asume la singularidad de cada investigación y la posibilidad de adaptarse a su campo disciplinar y contexto, para lo que propone una serie de principios, sugerencias e indicaciones que posibilitan su implementación. A continuación, se presenta un resumen de los momentos que orientan y caracterizan las acciones preaxeológicas/investigativas propuestos por Juliao (2011):

Primer momento: ver. Es la fase de búsqueda y de análisis/síntesis, esencialmente cognitiva, en la que el investigador/praxeólogo comprende la problemática y se sensibiliza frente a ella. Aquí se recolectó, analizó y sintetizó la mayor cantidad de información. Como resultado se consolidaron los saberes teóricos y las lecturas prácticas base para la comprensión amplia del problema de investigación.

Segundo momento: juzgar. Es la fase de reacción, fundamentalmente hermenéutica, en la que el investigador/praxeólogo conforma su propio punto de vista acerca de la problemática y desarrolla la empatía necesaria para participar de esta. Aquí se formalizaron las formas en las que se haría la observación, la experimentación y desde allí, se estructuraron y definieron las dos dimensiones de trabajo y las acciones a llevar a cabo para el logro de cada una: el desarrollo del prototipo y la implementación del prototipo mediante pruebas técnicas y funcionales con grupo focal.

Tercer momento: actuar. Es la fase de la re-elaboración operativa de la práctica, fundamentalmente pragmática, en la que el investigador/praxeólogo construye la gestión finalizada y dirigida de los procedimientos y tácticas. Se pasa de la investigación experimental a la aplicación práctica. Aquí se desarrolló el dispositivo desde el punto de vista técnico en consecuencia con los procesos necesarios de desarrollo de software. Posteriormente se estructuró el protocolo de indagación que posibilitó el desarrollo del trabajo de campo en entornos simulados y reales mediante trabajo con grupo focal.

Momento de la devolución creativa: es la fase de la reflexión en la acción, fundamentalmente prospectiva, que responde a la pregunta ¿qué aprendemos de lo que hacemos? Esta prospectiva representa un futuro planteado *a priori*, un ideal, el sueño, el deseo, la anticipación, pero también la evaluación. Gracias a la información recolectada en el trabajo de campo, desde el punto de vista experiencial y técnico, aquí se llevaron a cabo los ajustes al dispositivo en materia de software y de aplicabilidad y uso, con el fin de entregar los resultados de la investigación desde un proceso de puesta en marcha y evaluativo planificado.

De manera específica, la evaluación de *metroSonus* se realizó acorde a los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL por sus siglas en inglés *Technological Readiness Level*), un concepto que surge de la NASA para evaluar proyectos de aeronáutica y que posteriormente se generalizó para aplicarse a cualquier proyecto, desde su idea original hasta su despliegue (Ibáñez, 2014).

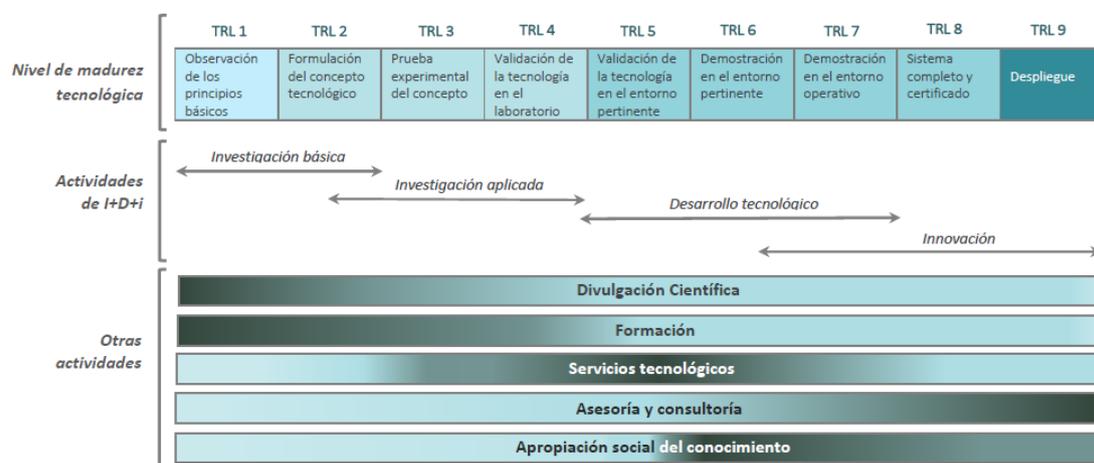


Figura 1. TRL, actividades de I+D+i y otras actividades.

Nota. Adaptado de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602: Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (p.12), COLCIENCIAS, 2016.

Según la página web de la NASA, cada proyecto tecnológico se evalúa en relación con los parámetros de cada nivel de tecnología y luego se le asigna una calificación TRL basada en el progreso de los proyectos. Hay nueve niveles de preparación tecnológica. TRL 1 es el más bajo y TRL 9 es el más alto. (NASA, s.f.). En la siguiente gráfica (Figura 1.) se relaciona el alcance de las diferentes etapas de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación I+D+i con los diferentes niveles de madurez de la tecnología o TRL.

Para concluir, el diseño metodológico de esta investigación pretende abarcar diferentes miradas a través de las singularidades de los métodos utilizados, por lo tanto, procura tener una aproximación desde las particularidades y generalidades del análisis de los referentes, así como desde la interpretación de estos, para sacar el máximo provecho de las habilidades críticas y de reflexividad del investigador. Por esta razón, durante la investigación, cualquiera de las dimensiones establecidas, puede predominar sobre la otra o desarrollarse paralelamente, de acuerdo con las necesidades de cada etapa.

3. Trabajo de campo y Análisis de datos

El proceso general del trabajo de campo de la investigación se llevó a cabo desde dos dimensiones generales: el desarrollo del prototipo y la implementación del prototipo. En este orden de ideas, la primera fase se estructuró en concordancia con los niveles de madurez tecnológica (TLR) y partió de la observación de los principios básicos por parte del equipo de diseño de software, para dar paso a la investigación aplicada (TL1). Paso seguido, se formuló el concepto de *metroSonus* así como las aplicaciones prácticas que orientaron la invención (TRL2) y se realizaron estudios analíticos y a escala de laboratorio para validar las predicciones analíticas de la propuesta (TRL3). En estos 3 niveles se pasa de la investigación básica a la aplicada, que corresponden con la dimensión del desarrollo del dispositivo. Los hallazgos de esta fase y sus respectivos niveles TRL, se detallan con más profundidad en el epígrafe 4.1 - Desarrollo del dispositivo.

A continuación, se inició la fase de implementación con la validación del desarrollo en entorno de laboratorio y se comprobó la funcionalidad como sistema de los diferentes componentes trabajando juntos (TRL4) y se dio paso a la validación del *metroSonus* en entorno pertinente, para este fin, se realizaron pruebas durante los meses de septiembre a noviembre de 2021 en entornos simulados con estudiantes de la Licenciatura en Educación Artística de UNIMINUTO (TRL5). Finalmente se llevó a cabo la demostración de desarrollo en entorno pertinente, en las instalaciones del Instituto Nacional para Ciegos de Colombia INCI, con un prototipo piloto de *metroSonus* con diseño detallado y funcionalidad total (TRL6). De igual manera, estos 3 niveles corresponden a la etapa de desarrollo tecnológico, donde se llevan a cabo las pruebas de implementación; por consiguiente, tanto dichas pruebas, como los hallazgos encontrados, se detallan con mayor profundidad en el epígrafe 4.2, Implementación del dispositivo.

Para esta segunda fase, se realizó una prueba técnica en entorno simulado con los estudiantes de la Licenciatura en Educación Artística de UNIMINUTO en las instalaciones de la universidad. Posteriormente se elaboró un protocolo para orientar la prueba técnica y funcional en entorno real, mediante grupo focal con 10 músicos con discapacidad visual (empíricos y profesionales), en las instalaciones del Instituto Nacional para Ciegos de Colombia INCI.

El diseño del protocolo se desarrolló de manera que posibilitara la indagación sobre las categorías de análisis que enmarcan la investigación. De esta forma se estructuró a partir de tres grandes categorías de indagación en torno a la accesibilidad, donde se abordaron cuestiones sobre la navegación, la claridad de las instrucciones de la página web, así como elementos a conservar, quitar o mejorar de esta. La segunda categoría abordó aspectos técnicos y funcionales alrededor de la percepción de las vibraciones, los pulsos y las sincronías. Y, por último, una tercera indagación sobre las posibilidades pedagógicas, donde se exploraron los aportes a los procesos de enseñanza - aprendizaje de la música, la utilidad para el ensamble de orquestas y para músicos con discapacidad visual, así como los aportes de la herramienta para la inclusión de esta población.



Figura 2. Pasos del análisis tipológico

Nota. Adaptado de *Doing qualitative research in education settings*, por J.A. Hatch, 2002, Suny Press.

Gracias a la información obtenida con el grupo focal, las grabaciones fueron transcritas con la ayuda del software *Microsoft Office* y anonimizadas para proteger la identidad de los participantes. Bajo la orientación metodológica del Análisis Tipológico de Hatch (2002) (Ver figura 2), los datos fueron analizados y codificados de manera abierta por los autores con la ayuda del software *Nvivo*. Desde allí emergieron y fueron identificadas las siguientes categorías de análisis que consolidan los resultados expuestos: accesibilidad, funcionalidad de la aplicación, uso pedagógico, inclusión, usabilidad en orquestas y ensambles. De igual forma se recolectaron aspectos clave en torno a las fortalezas, debilidades y opciones de mejora de *metroSonus*.

4. Resultados

Los resultados se encuentran recopilados desde los diferentes momentos investigativos: Ver, Juzgar y Actuar, propuestos en el Enfoque Praxeológico (Juliao, 2011), desde donde se permitió consolidar el desarrollo de la aplicación y los alcances de esta a nivel tecnológico, así como la implementación del prototipo mediante las pruebas de campo realizadas. De esta forma, los hallazgos encontrados en el desarrollo de esta investigación serán presentados a partir de las dos dimensiones de trabajo definidas: desarrollo del prototipo e implementación del prototipo.

4.1 Desarrollo del Prototipo

Como en todo proceso de desarrollo de software, se comenzó con las etapas de análisis, permitidas por la búsqueda de referentes y lecturas contextuales, que posibilitaron la definición y diseño de la propuesta, en concordancia con lo propuesto en los niveles de madurez tecnológica TRL1 y TRL2. Como resultado de estas primeras etapas se tomaron numerosas decisiones técnicas basadas en las necesidades y restricciones propias del proyecto y se formula el concepto tecnológico inicial: la aplicación debe posibilitar fácilmente a los usuarios con discapacidad visual, recibir los estímulos rítmicos necesarios en un ensayo o presentación musical donde exista un director que los genere, con la menor afectación para la ejecución de la tarea de dirección.

De los análisis realizados durante esta fase se identificaron las siguientes necesidades:

- Debe ser fácilmente asequible por cualquier usuario a nivel global.
- No debe tener ninguna dependencia con licencias ni librerías externas.
- Debe ser fácil de mantener y sostener.
- Debe permitir la captura y procesamiento en tiempo real de la cámara.
- Debe realizar un seguimiento de los movimientos del director.
- Debe permitir una comunicación con los dispositivos móviles de los músicos.

Con lo anterior, se decidió implementar una aplicación web expuesta públicamente, que permita su uso en un gran porcentaje de dispositivos y creada en lenguajes estándar de desarrollo, con el fin de disminuir así la dependencia de software de terceros y facilitar su mantenimiento.

Dada la necesidad de alta disponibilidad de la aplicación, por la que cualquier usuario pudiera acceder a esta sin necesidad de incurrir en algún gasto adicional, y que funcionara en la mayor cantidad de dispositivos, ya sea de escritorio o móvil, se decidió hacer una aplicación web que se pueda ejecutar en un entorno ya instalado en casi cualquier equipo: Un navegador web.

Esta decisión, por sí misma, ya trajo varios retos técnicos debido a las restricciones que ese entorno tiene, por ejemplo, el acceso a funcionalidades del dispositivo como el vibrador o configuraciones de pantalla en dispositivos móviles. Esto nos lleva a la definición del concepto tecnológico (TRL3), que de manera general plantea una arquitectura cliente-servidor en la que cada cliente puede elegir un rol (director o intérprete) dentro de una sala que sólo puede crearse siendo director. El cliente que tenga el rol de director se comunica con todos los intérpretes que estén conectados a la misma sala.

Este concepto abarca, por el lado de cliente, 2 diferentes interfaces de usuario, una para cada uno de los roles posibles:

- Director
- Intérprete

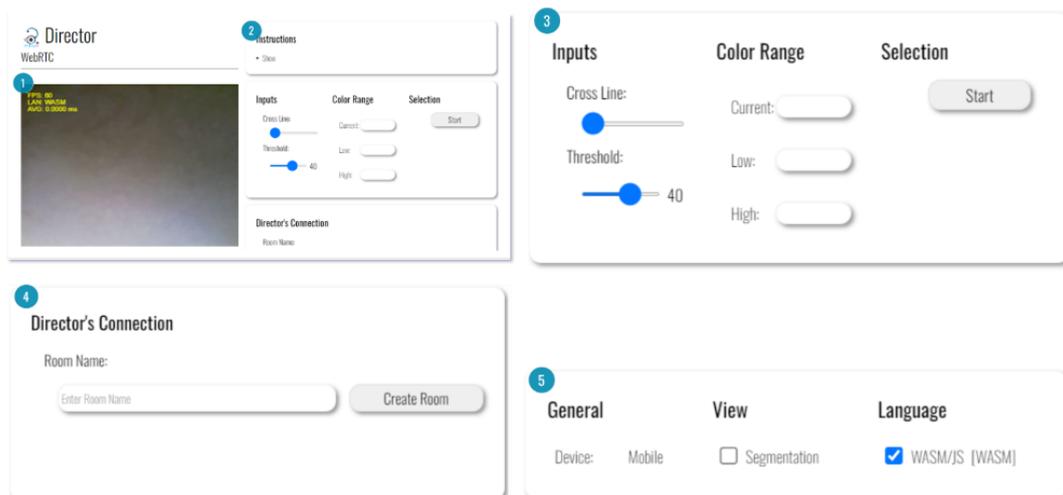


Figura 3. Interfaz del director.

La página del director está dividida en 2 secciones, la sección en la que se tiene acceso a la cámara y a los datos asociados al procesamiento del video en tiempo real (1) y la sección de configuración (2). En esta última, el director puede elegir el color que va a utilizar para hacer el seguimiento del pulso, la sensibilidad del proceso de segmentación de la imagen y el punto que elige para enviar el beat a los intérpretes (3), el lenguaje que se va a utilizar para hacer el procesamiento en tiempo real (5) y todo lo relacionado a la creación de la sala y la conexión con el servidor (4).

Para el intérprete, se implementó una interfaz de usuario mucho más sencilla, pues solo incluye el panel de control de la conexión a la sala de la que el intérprete quiere ser parte y el tipo de notificación que prefiere, ya sea vibrador o audio. El cuadro que se usa para indicar de manera visual que se recibió una señal, se muestra sin importar el tipo de notificación que se elija.

Con el fin de albergar la aplicación web en línea, se diseñó la página web <http://www.artilug.io> bajo los requerimientos necesarios que garanticen la facilidad en cuanto a accesibilidad y comprensión de esta. Así pues, se optó por un diseño minimalista y con poco texto para evitar distracciones causadas por los lectores de pantalla y demás aplicaciones utilizadas por la población con discapacidad visual.



Figura 4. Interfaz del intérprete

En cuanto a la metodología de la utilización de *metroSonus*, el procedimiento se diseñó también para facilitar lo más posible el proceso en cuestiones de accesibilidad. El director ingresa a la página <http://artilug.io> y en la sección *metroSonus* presiona el botón “director” y sigue las instrucciones en pantalla, paso seguido, le asigna un nombre a la habitación o cuarto de ensayo y oprime el botón “create room”.

Por otra parte, el intérprete con discapacidad visual ingresa de igual manera a la página <http://www.artilug.io>, pero en la sección *metroSonus* presiona en el botón “intérprete”. Paso seguido ingresa el nombre de la habitación asignado por el director y presiona “connect”. A partir de este momento, todos los intérpretes conectados a esta habitación empezarán a recibir en sus dispositivos móviles las vibraciones enviadas por los gestos del director, tal como lo explica Gaitán en el video introductorio al desarrollo *metroSonus* (Gaitán-Lozano, 2022).

Los requerimientos mínimos para utilizar *metroSonus* por parte del director son:

- Conexión a internet.
- Navegador web (Se recomienda Google Chrome).
- Un guante o batuta de color.

Por parte de los intérpretes:

- Conexión a internet.
- Dispositivo móvil con sistema operativo Android.

4.2 Implementación del Prototipo

Dada la naturaleza del enfoque Praxeológico asumido, en esta fase los resultados transitan especialmente entre el momento del actuar y la devolución creativa, desmarcados de los procesos lineales tradicionalmente establecidos. Inicialmente, se llevaron a cabo las pruebas del concepto tecnológico en laboratorio, correspondientes al nivel de madurez tecnológica TRL4. Se evaluaron sus componentes básicos y el funcionamiento de estos por separado y en conjunto, tanto en diferentes sistemas operativos, como en diversos dispositivos móviles, con resultados satisfactorios; lo que devino en un diseño preliminar del prototipo que posibilitaría las pruebas posteriores en el trabajo de campo.

Paso seguido, se realizó la validación en condiciones previstas simuladas y reales, con estudiantes de la Licenciatura en Educación Artística (TLR5), donde se puso a prueba la herramienta como tal y se indagó, mediante protocolo de investigación, sobre su accesibilidad, aspectos técnicos y funcionales, que posibilitaron volver al prototipo y retomar el proceso de experimentación y desarrollo tecnológico. Los hallazgos obtenidos de estas pruebas en entornos simulados llevaron a cambios relevantes en el prototipo, relacionados en su mayoría con cambios en la interfaz gráfica y algunos problemas de conexión, lo cual, condujo finalmente al desarrollo del producto mínimo viable o MVP por sus siglas en inglés, la versión de *metroSonus* lista para usarse.

En consecuencia, con el nivel de madurez tecnológica TRL6, se procedió a la demostración del prototipo en condiciones relevantes a las reales operativas, en este caso, en las instalaciones del Instituto Nacional de para Ciegos de Colombia INCI, con una población de 10 músicos con discapacidad visual. La prueba consistió en el montaje y ejecución de una obra musical sencilla con el apoyo de *metroSonus* y con la participación de todos los asistentes, seguido de una indagación sobre los aspectos definidos en el protocolo de investigación y nombrados en el párrafo anterior.

El proceso de indagación, en ambos grupos, se realizó mediante el trabajo con grupo focal, y gracias al proceso de codificación de la información recolectada y su posterior análisis, así como las iteraciones y reiteraciones sobre el prototipo *metroSonus*, se logró la síntesis de los siguientes resultados, desde las categorías de análisis identificadas. Se plasman además los aspectos positivos, así como las acciones de mejora, sobre las que se hizo mayor indagación, para el posterior y permanente desarrollo de la herramienta:

4.2.1. Accesibilidad:

- Los participantes encontraron que la página es comprensible, bien armada y que las personas con discapacidad visual pueden manejarla sin ningún problema:

La página está bien pues por lo menos es comprensible y pues digamos que para la persona con discapacidad visual que quiere ingresar, pues lo va a poder hacer sin ningún problema.

- Se describió la herramienta como un material bastante didáctico, muy versátil, tanto para las personas con discapacidad visual, como para las personas videntes:

Me parece que es minimalista la página, o sea bastante interesante, solo que, pues bueno no sé si solamente la página va para personas invidentes, pues igual él, como que el formato no importa, pero si también va para personas videntes será interesante pronto como pues que fuera minimalista, pero con un toque también.

- Se resalta como positivo el carácter gratuito de la aplicación:

Yo si tengo algo que decir con respecto a la aplicación, que sea gratis digamos está chévere sí, pero no tiene que ser consciente, hay que ser consciente, se necesita de algo para sobrevivir y él no puede pretender que siempre va a ser gratis.

- Se debe pensar la utilización de la herramienta desde el sistema operativo iOS:

Si, fue digamos que necesitamos, se necesita también mirar eso que sea... o sea que sea compatible con todos los celulares, porque pues unos no pudimos participar por ese... ese... aspecto.

- Se deben contar con buena conectividad para que la interacción con la página sea la adecuada:

Después de cierto tiempo de interactuar con la página me pasó que sí, también se bloquea.

- Se propone como sugerencias que se pueda conectar la herramienta con el asistente de voz y que se piense en desarrollarla como aplicación, ya que quizás de esta forma sería más accesible en contextos rurales donde la conectividad no es óptima:

De pronto han pensado en que no sea una página web, sino que sea una aplicación que pues... en ámbitos rurales, es más, sería más sencillo por la conexión a internet por la falta de conexión.

4.2.2. Funcionalidad de la aplicación:

- Se resaltó el tiempo de configuración de la aplicación, ya que es el necesario y útil para su utilización dentro de un grupo de trabajo:

Es un punto a favor porque a veces digamos, si es directamente para un concierto imagínese uno está ahí cómo, no oiga espere configuro, por ahí media hora ¿no? o sea no...

- Se detectaron unos desfases mínimos entre las señales de los participantes:

Había una que como que se trababa, o sea, hay unas partes donde se trababa y como que... no me daba el tiempo que era ¿sí? entonces como que se pegaban el vibrador y llegaba el otro tiempo y me lo me lo hacía seguiditos ¿sí? entonces había como un desfase, un desfase, pero muy mínimo.

Para algunos participantes no fue posible activar la vibración.

- Se recomienda llevar el proyecto a fases de desarrollo más avanzadas y que se difunda desde muchos espacios para que llegue a muchas personas:

Lo bonito es que ojalá como en todas las realidades eh, este proyecto pase a la posteridad, o sea que de verdad sea y crezca y se pueda, estoy de acuerdo que no se quede en los anaqueles de la Universidad.

- Para los usuarios resultó más cómodo usar la vibración que el pito, ya que le permite mejor adaptabilidad al uso de esta:

Lo del pito sí estoy de acuerdo con (part. 2), para mí como persona con discapacidad visual, siento que por comodidad el vibrador me funciona más sensorialmente, que pues estar en esa pitadera.

- Se hacen recomendaciones acerca de la ubicación del dispositivo para un mejor uso y funcionalidad:

yo creo que depende de la, de la parte en donde se encuentre el dispositivo ¿no? en la mano puede ser mucho más perceptible que de pronto en el muslo o en el pecho pues yo creo que ya la vibración, obvio, no puede ser tan fuerte, pero no sé si eso si eso como que depende más del celular.

4.2.3. Uso pedagógico:

- La importancia de la herramienta por su uso por parte de no solamente personas con discapacidad visual, sino también por parte de personas videntes:
 - Completamente, lo que le decía no solamente para personas invidentes sino para todo tipo de público, que a veces es muy difícil también llegar a acercarnos a ese beat, a ese pulso constante.
 - Además, que pues la gente bueno, pues, mucha gente entiende la música visualmente, pero sintiendo la también, entonces creo que, entonces creo que esa sería una metodología también bacana para la gente que también ve.
- Se resalta su uso diverso para otro tipo de necesidades:
 - Además, que sí digamos que de pronto si la persona no desarrolla el oído musical, puede realmente reconocerlo a partir de los sentidos, eso está bastante interesante.
 - Sería muy bueno o interesante de pronto, hacer la prueba, bueno no sé es una locura pensarlo, no solamente con el tacto, sino como tú dices en la pierna, yo lo hice en el tacto y creo que la mayoría lo hicimos con la mano, pero no sé qué tan bien funcionará de pronto con el pie y las personas que no tengan manos.
- Los participantes hicieron énfasis en como la herramienta genera motivación hacia el aprendizaje:

Me parece muy chévere está de verdad está súper interesante, uno se siente así con más ganas de hacer música, me parece súper chévere.
- Se resalta como la herramienta tecnológica puede favorecer los procesos de atención en el aprendizaje de la música para personas con discapacidad visual:
 - Me siento feliz de haber podido participar en este grupo, porque desde los niños, desde los más pequeñines ellos, perdón, desde los más chiquitos, ellos captan, o sea es un aparato que genera bastante de la atención.
- Sí, tiene, por eso les decía, tiene que mantener la atención focalizada no selectiva sino una atención focalizada total al instrumento y a lo que se está haciendo.
 - Es importante la herramienta para la activación y percepción general mediante los sentidos, no solo a nivel auditivo:

Además, que tiene una interacción más directa con el sentido, digamos no solamente auditivo no, sino sentir el pulso, sentirlo no solamente escucharlo sino sentirlo.

4.2.4 Usabilidad en orquestas y ensambles:

- Se considera una herramienta útil, especialmente para orquestas de música clásica o para interpretaciones muy específicas, sin embargo, para la música popular, la percepción es otra:

Yo creo que es útil, como te decía al principio para música clásica para vainas muy específicas, cosas de ese estilo y en orquestas populares si te digo cada uno tiene su método y ahorita, yo creo que tú sabes más que yo de pronto, que la tecnología permite en ciertos eventos que uno tenga su director ahí hablándole sin necesidad de que el público lo escuche, por la cuestión de cómo se maneja actualmente el sonido. Entonces si me preguntas a mí, yo digo para orquestas clásicas y para proyectos muy específicos de bandas y esto si sirve, eso es como todo, pero para la música popular para jazz para este tipo de cosas no, porque es más improvisación y uno conectarse y yo sí pienso que para uno conectarse no necesita, los videntes se miran, pero yo creo que uno puede llegar a tener una conexión con ellos sin necesidad de eso, sino sabiendo, como decía ahorita dijo, teniendo la atención en lo que se está haciendo, teniendo la concentración y eso a nosotros nos puede ayudar mucho.
- La herramienta permite la participación de personas con discapacidad visual en grandes ensambles de música:

Lo que se quiere con este pilotaje es que las orquestas no se cohíban de recibir a una persona ciega porque no sabe cómo decirle comenzamos ¿sí? porque en una orquesta pequeña quizás él habla dice, pero en una orquesta de pronto grande, donde son varias entradas, esto es lo que me va a permitir, para que no deje de estar acá dirigiendo al frente y diga: Johnatan te toca... Laura te toca...

4.2.5 Inclusión:

- Se destaca que la herramienta es funcional y elimina barreras que tienen los músicos con discapacidad visual al momento de tocar instrumentos con personas videntes:

Si lo van a usar desde alguien que se está formando, eso ayuda mucho porque a veces uno tiene esa falencia a nosotros como ciegos, ¿para tocar en algún grupo... y es uno? Uno puede tener el oído y le dicen a uno: está corriendo, cosa que los videntes si tienen por su partitura. yo lo relaciono como con esa persona que te está tocando todo el tiempo el hombro diciendo; no corras, tranquilo... la voz de la conciencia.

– Surge la necesidad de que la propia población con discapacidad visual sea quien difunda e incentive la utilización del dispositivo, como parte de sus procesos de inclusión:

Porque a veces todos: ay somos cieguitos, no nos incluyen. Mire profesor de música, esta esta estrategia, que por supuesto le va a funcionar yo ya la probé, porque el profesor tampoco se las sabe todas... como ustedes ya son grandes cierto, se acercan a un maestro y le dicen: maestro mire yo probé esta aplicación que nos puede permitir tal y tal cosa, entonces sí para que haga que pues también busquemos los espacios miremos como uno de verdad se incluye también.

– Se resalta nuevamente cómo el dispositivo puede ser utilizado para dar respuesta a las necesidades educativas de más grupos poblacionales:

– A la inclusión de todos ¿sabes? creo que decir inclusión solamente de las personas invidentes es un fallo, sino realmente a todas las personas que se puedan sentir relacionadas con el aplicativo.

– En mi caso que soy hipoacúsica, yo estaba pensándolo y sirve mucho, porque digamos, pues para mí, en mi caso es como difícil muchas veces, como si escuchar el ritmo o sentirlo, pero el ver cuando estaba vibrando, también el cuadradito sirve; porque va guiando, va guiando, o sea cada vez que alumbra, va acorde con el director y también va acorde como a la velocidad, entonces eso también es una guía visual de ver el ritmo, digámoslo así.

Tabla 1. Resultados de los grupos focales.

RESULTADOS	
CATEGORÍA	RESULTADO
Accesibilidad	Los participantes encontraron que la página es comprensible, bien armada y que las personas con discapacidad visual pueden manejarla sin ningún problema.
	Se describió la herramienta como un material bastante didáctico, muy versátil, tanto para las personas con discapacidad visual, como para las personas videntes.
	Se resalta como positivo el carácter gratuito de la aplicación.
	Se debe pensar la utilización de la herramienta desde el sistema operativo iOS.
	Se deben contar con buena conectividad para que la interacción con la página sea la adecuada.
	Se propone como sugerencias que se pueda conectar la herramienta con el asistente de voz y que se piense en desarrollarla como aplicación, ya que quizás de esta forma sería más accesible en contextos rurales donde la conectividad no es óptima.
Funcionalidad de la aplicación	Se resaltó el tiempo de configuración de la aplicación, ya que es el necesario y útil para su utilización dentro de un grupo de trabajo.
	Se detectaron unos desfases mínimos entre las señales de los participantes.
	Se recomienda llevar el proyecto a fases de desarrollo más avanzadas y que se difunda desde muchos espacios para que llegue a muchas personas.
	Para los usuarios resultó más cómodo usar la vibración en vez del pito, ya que les permite mejor adaptabilidad al uso de esta.
	Se hacen recomendaciones acerca de la ubicación del dispositivo para un mejor uso y funcionalidad.
Uso pedagógico	La importancia de la herramienta por su uso por parte de no solamente personas con discapacidad visual, sino también por parte de personas videntes.
	Se resalta su uso diverso para otro tipo de necesidades.
	Los participantes hicieron énfasis en cómo la herramienta genera motivación hacia el aprendizaje.
	Se resalta cómo la herramienta tecnológica puede favorecer los procesos de atención en el aprendizaje de la música para personas con discapacidad visual.
	Es importante la herramienta para la activación y percepción general mediante los sentidos, no solo a nivel auditivo.
Usabilidad en orquestas y ensambles	Se considera una herramienta útil, especialmente para orquestas de música clásica o para interpretaciones muy específicas, sin embargo, para la música popular, la percepción es otra.
	La herramienta permite la participación de personas con discapacidad visual en grandes ensambles de música.
Inclusión	Se destaca que la herramienta es funcional y elimina barreras que tienen los músicos con discapacidad visual al momento de tocar instrumentos con personas videntes.
	Surge la necesidad de que la propia población con discapacidad visual sea quien difunda e incentive la utilización del dispositivo, como parte de sus procesos de inclusión.
	Se resalta nuevamente cómo el dispositivo puede ser utilizado para dar respuesta a las necesidades educativas de más grupos poblacionales.

Para concluir, la aplicación web *metroSonus* se ha validado en condiciones relevantes a las reales operativas y representa un prototipo con diseño detallado y con las condiciones necesarias de escalamiento que le permitirían llegar a un sistema completamente operativo. *MetroSonus* tiene la capacidad de desarrollar todas las funciones requeridas, por lo tanto, el grado de madurez tecnológica de la propuesta corresponde al TRL6 "Demostración en el entorno pertinente".

4. Discusión y Conclusiones

La utilización de un dispositivo como *metroSonus* incorpora elementos esenciales para la promoción de prácticas pedagógicas o profesionales enmarcadas en principios de accesibilidad y entornos universales, de la misma manera que abre las oportunidades de participación en procesos de educación equitativa e inclusiva, en concordancia con los principios propuestos por los DSE (Connor, 2019).

De acuerdo con Vidarte et al. (2022), los resultados positivos obtenidos en el trabajo de campo mediante la implementación del uso del dispositivo permiten afianzar la idea de que son las prácticas, los entornos educativos, los espacios físicos, los que necesitan ser cambiados, pensados desde los principios de la universalidad del aprendizaje, de manera que favorezcan y garanticen el acceso a la educación y participación de todos y cada uno de los sujetos.

MetroSonus permite la creación de ambientes de aprendizaje de la música y/o práctica musical inclusivos, cómo se manifestó en las percepciones de los participantes a partir de la práctica realizada con el uso del dispositivo, se evidenciaron aspectos favorables y positivos no solo a nivel pedagógico, sino también emocional y social, indicadores obligados al momento de pensar en entornos educativos generales tal y como la plantean Bacon y Blachman (2017).

Para continuar en sintonía con los principios propuestos por los DSE (Ferri, 2015), el uso del dispositivo posibilita el afianzamiento del compromiso que tenemos como educadores de adaptar las instrucciones para todos y cada uno de los alumnos, en detrimento del ideario, centrado en el déficit, donde los estudiantes son quienes deben buscar las formas de adaptarse a las condiciones establecidas en sus aulas de clase o espacios educativos.

La utilización de *metroSonus* como herramienta tecnológica en los procesos de aprendizaje de las personas con discapacidad visual, se constituye como un elemento importante al momento de eliminar barreras de aprendizaje y de garantizar accesibilidad y participación plena. De igual forma favorece la formación integral y de calidad del estudiantado en la medida que disminuye las dificultades y favorece sus aprendizajes, autonomía, independencia e interacción. (Castellanos, 2019; Castro & Téllez, 2022; Echeita & Navarro, 2014).

4.1. Desde el desarrollo del prototipo

Al ser una herramienta pensada desde el acceso universal, las necesidades que la soportan deben ser planteadas desde condiciones globales y generales de los contextos y la población usuaria, en este caso, personas con discapacidad visual.

La arquitectura utilizada cliente - servidor + P2P ofrece la posibilidad de crear un número amplio de salas simultáneas, en donde cada una puede estar conformada por un director y su grupo de músicos, lo que significa que por ejemplo en una institución educativa, puede ser llevado a cabo el ejercicio por diferentes grupos, en diferentes espacios y simultáneamente.

La gratuidad de la herramienta y la condición de aplicación web, que no hace necesaria la instalación de ningún tipo de *software*, se convierten en características favorecedoras para su accesibilidad y asequibilidad.

Desde la utilización de esta herramienta, el músico tiene la posibilidad de sentir el pulso desde lo háptico, lo sonoro y lo visual, lo que permite ampliar el espectro y campo de acción pedagógico de *metroSonus*, de acuerdo con las necesidades o preferencias particulares del usuario y/o del orientador.

4.2. Desde la implementación del prototipo

Desde el campo pedagógico se identifica que la herramienta puede ser útil para otras poblaciones con discapacidad y desde otra propuestas metodológicas y didácticas, por lo que puede ser explorada desde otros ámbitos educativos.

Al ser este un dispositivo que mezcla innovación y tecnología, *metroSonus* genera curiosidad, que se transforma en motivación por parte de los usuarios para el aprendizaje o la interpretación de la música.

El uso de *metroSonus* puede favorecer los procesos de atención y concentración en el aprendizaje de la música para la población con discapacidad visual.

MetroSonus favorece la inclusión de personas con discapacidad visual, ya que facilita no solo su desempeño, ya sea como aprendiz o como músico parte de un ensamble, sino también el del orientador o director, en la medida que no se requieren conocimientos especializados, que difieran de sus prácticas habituales para utilizar la herramienta y trabajar de manera armónica con grupos de músicos con o sin discapacidad.

Los resultados de esta investigación + creación, por su naturaleza abierta y perfectible, se consolida como un resultado de conocimiento que potencia desarrollos que parten de su uso en otras áreas del saber, de igual forma se consolida como un campo de conocimiento permanente, ya que puede ser modificada y mejorada por otros usuarios interesados en el desarrollo del software.

Estas expectativas se convierten en nuevas posibilidades de exploración y realización para el equipo de investigadores, en cuanto a que abre nuevas rutas de desarrollo y de posibles aperturas hacia investigaciones

similares y trabajos conjuntos con otras organizaciones o instituciones interesadas en el tema; lo que se constituye como prácticas esenciales enfocadas hacia el desarrollo, crecimiento profesional, docente y personal.

Este proyecto de investigación plantea nuevos desafíos y exigencias de formación en las diversas áreas que fueron exploradas para el desarrollo de *metroSonus*, pero también en aquellas que se hacen necesarias para dar continuidad a este proyecto, como es el caso del *computer vision*, el *machine learning* y la inteligencia artificial.

Agradecimientos:

Ministerio de Cultura de Colombia
Instituto Nacional Para Ciegos Colombia - **INCI**

Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO) – Facultad de Educación Licenciatura en Educación Artística y Unidad de Posgrado
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) – Programa de Música

Abreviaturas

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación

ADMI: Accesible Digital Musical Instruments - Instrumentos digitales musicales accesibles.

BCMI: Brain Controlled Musical Instruments - instrumentos musicales controlados por el cerebro.

IT: Information Technologies - Tecnologías de la información

MCT: Music Computer Technologies - Tecnologías informáticas musicales.

TRL: Technological Readiness Level - Nivel de madurez tecnológica

INCI: Instituto Nacional para Ciegos de Colombia

6. Referencias

- Bacon, J. & Blachman, S. (2017). A Disability Studies in Education. Analysis of the edTPA Through Teacher Candidate Perspectives. *Teacher Education and Special Education*. Vol. 40 (4) 278-286. <https://doi.org/10.1177/0888406417730110>
- Baglieri, S., Velle, J., Connor, D. & Gallagher, J. (2011). Disability Studies in Education: The need for a Plurality of Perspectives on Disability. *Remedial and Special Education*. Volume 32, Issue 4, 267-278. <https://doi.org/10.1177/0741932510362200>
- Bajo, J., Sánchez, M.A., Alonso, V., Berjón, R., Fraile, J.A. & Corchado, J.M. (2010). A distributed architecture for facilitating the integration of blind musicians in symphonic orchestras. *Expert Systems with Applications*. Volume 37, Issue 12, 8508-8515, ISSN 0957-4174. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.05.025>
- Caballo, C. & Núñez, M. (2013). Personas con discapacidad visual. En *Discapacidad e inclusión: manual de docencia*. Salamanca: Amaru Ediciones. <https://doi.org/10.36829/63CHS.v9i1.1334>
- Castellanos, D. (2019). Estrategias pedagógicas para promover la participación educativa y social de las personas con discapacidad visual mediada por las TIC. [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/10209/TE-23229.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, M. & Téllez, S. (2022). Estrategias inclusivas mediada por las tic para la formación de estudiantes con discapacidad visual. [Tesis de maestría, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/9202/Estrategias%20inclusivas%20mediada%20por%20las%20tic.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clough, P., & Corbett, J. (2000). *Theories of Inclusive Education: A Student's Guide*. Sage. <https://doi.org/10.4135/978144622043>
- COLCIENCIAS, (2016). Documento de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602: Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/politiciadeactores-snctei.pdf
- Collins, K., Connor, D. Ferri, B. & Gallagher, D. (2016). Dangerous Assumptions and Unspoken Limitations: A Disability Studies in Education Response to Morgan, Farkas, Hillemeier, Mattison, Maczuga, Li, and Cook (2015). *Multiple Voices for Ethnically Diverse Exceptional Learners*, 16 (1), 4-26. Division for Culturally & Linguistically Diverse Exceptional Learners of the Council for Exceptional Children. <https://doi.org/10.56829/2158-396X.16.1.4>
- Connor, J. (2019). Why is Special Education so Afraid of Disability Studies? Analyzing Attacks of Disdain and Distortion from Leaders in the Field. *Journal of Curriculum Theorizing*. Volume 34, Number 1, 10-24.
- Cosier, M., Causton-Theoharis, J., & Theoharis, G. (2013). Does Access Matter? Time in General Education and Achievement for Students With Disabilities. *Remedial and Special Education*, 34(6), 323-332. <https://doi.org/10.1177/0741932513485448>
- Echeita, G. & Navarro, D. (2014). Educación inclusiva y desarrollo sostenible: una llamada urgente a pensarlas juntas. *Edetania: Estudios y Propuestas Socio-Educativas*, 46, págs. 141-162.
- Escobar-Morales, G., Elizondo-Quintanilla, I. L., García-Mirón, J. P., & Carranza-Padilla, M. J. (2022). Inclusión digital para estudiantes universitarios con discapacidad visual. *Ciencias Sociales Y Humanidades*, 9(1), 73-87. <https://doi.org/10.36829/63CHS.v9i1.1334>

- Ferri, B. (2015). Inclusion for the 21st century: Why we need disability studies in education. *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, 3 (2). 11-22.
- Figuerola, C. & Hernandez-Saca, D. (2021). *Dis/ability in the Américas: The Intersections of Education, Power, and Identity (Education in Latin America and the Caribbean)* 1st ed. Palgrave macmillan. New York.
- Frid, E. (2019). Accessible Digital Musical Instruments—A Review of Musical Interfaces in Inclusive Music Practice. *Multimodal Technologies and Interaction*. 3. 57. <https://doi.org/10.3390/mti3030057>
- Gaitán-Lozano, D.F. (24 de mayo de 2022). *metroSonus – Artilug.io* [Archivo de Video]. YouTube. <https://youtu.be/G4qZKzUXip0>
- Gorbunova, I.B. & Morozov, S.A. (2021). On Teaching Visually Impaired Students in Russian Educational Institutions of Music. *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, Vol. 27, No. 1, 2021. 3244-3266. P-ISSN: 2204-1990;E-ISSN:1323-6903. <https://cibg.org.au/>
- Gorbunova, I. B. & Voronov, A. M. (2018, October). Music computer technologies in computer science and music studies at schools for children with deep visual impairment. In *Int'l Conference Proceedings* (pp. 15-18). <http://uruae.org/siteadmin/upload/3920UH10184021.pdf>
- Gray C. (2009). A qualitatively different experience: Mainstreaming students with a visual impairment in Northern Ireland. *European Journal of Special Needs Education*, 24(2), 169–182. <https://doi.org/10.1080/08856250902793644>
- Hatch, J. A. (2002). *Doing qualitative research in education settings*. Suny Press.
- Human Instruments (1 de octubre de 2023). *Haptic Baton*. Human Instruments. <https://www.humaninstruments.co.uk/haptic-baton>
- Ibáñez de Aldecoa Quintana, J.M. (2014). Niveles de Madurez Tecnológica. *Economía Industrial*, No.293, 165-171
- Juliao, C. (2011). El enfoque Praxeológico. Corporación Universitaria Minuto de Dios. *Facultad de Educación, Escuela de Alta Docencia*. Bogotá. <http://dx.doi.org/10.26620/uniminuto.praxis.13.14.2013.141-145>
- Karagianni, E. & Drigas, A. (2023). Using New Technologies and Mobiles for Students with Disabilities to Build a Sustainable Inclusive Learning and Development Ecosystem. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 17(01), pp. 57–73. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i01.36359>
- Martínez, Y., Naranjo, K., Torres, J. & Castro, C. (2022). La tiflotecnología, una herramienta para la construcción de identidad en el contexto sociocultural de personas con discapacidad visual. Editorial UPTC. <http://dx.doi.org/10.19053/9789586606332>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [MinCiencias]. (n.d.). Investigación + Creación. <https://minciencias.gov.co/investigacion-creacion>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2008). *Educación inclusiva: el camino hacia el futuro*. Recuperado de: http://www.ibe.unesco.org/National_Reports/ICE_2008/brazil_NR08_sp.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2015). *Declaración de Incheon y Marco de Acción ODS 4 – Educación 2030*. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/pdf/ESP-Marco-de-Accion-E2030-aprobado.pdf>
- Ryndak, D. L., Taub, D., Jorgensen, C. M., Gonsier-Gerdin, J., Arndt, K., Sauer, J., Ruppert, A. L., Morningstar, M. E., & Allcock, H. (2014). Policy and the Impact on Placement, Involvement, and Progress in General Education: Critical Issues That Require Rectification. *Research and Practice for Persons with Severe Disabilities*, 39(1), 65-74. <https://doi.org/10.1177/1540796914533942>
- Parra, D. (2022). Análisis y propuesta del uso de las TIC's como apoyo académico para una mayor inclusión de las personas con discapacidad visual y auditiva en la Universidad Técnica de Babahoyo. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11642>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (20 de mayo de 2023). *Technology Readiness Level*. Editor: Catherine Manning. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level
- Valente, M. & Collins, K. (2016). [Dis] Ableing Educationla Inequities: A Disability Studies in Education Perspective. *Review of Disability Studies: An International Journal*. Volume 12 (Issue 1). 1-19. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/425af050-0220-49dc-b28d-f86d976dcf02/content>
- Vidarte, A., Reina-Zambrano, J. & Mattheis, A. (2022). Access and equity for students with disabilities in Colombian higher education. *Education Policy Analysis Archives*, 30(61). <https://doi.org/10.14507/epaa.30.6044>
- Zambrano-Lozada, C. C. & Zea-Tibaduiza, B. N. (2021). Prototipo de servicio web accesible que funcione sin depender de la tecnología JAWS para personas con discapacidad visual en Bogotá. [Trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/26991>
- Zorz, S. G. (2019). Las TIC como herramientas de mediación en las trayectorias educativas de estudiantes con discapacidad visual. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Quilmes Bernal, Argentina]. <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/1751>