

## PROYECTO JAULAB, MÁS ALLÁ DEL AULA

**PACS:** 43.10.Sv, 43.75.Wx.

R. San Martín; R. Eguinoa; A. Beunza; M. Arana

Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadia, 31006 Pamplona, Spain  
ricardo.sanmartin@unavarra.es, +34948168436.

**Palabras Clave:** instalación sonora, sonido inmersivo, proyecto educativo

### ABSTRACT.

The JAULAB project arises from the Acoustics group of the UPNA (Public University of Navarre), aiming to bring through art the work carried in the Acoustics Laboratory to places where the scientific and technologic language is not that common. Artists from different disciplines were suggested to create a sound installation to experiment with 3D sound scenes. The Sculpture Department of the School of Art and Design of Pamplona designed the main structure, which was built by the Elkarte Foundation, a centre that aims to form social reintegration groups in the field of welding. Likewise, the collaboration with the UpnaLab group –which promotes the maker culture– led in the design and printing of the loudspeakers for the installation. The users of the facility can introduce themselves in a 3 meter diameter sphere and be surrounded by 24 independent loudspeakers that generate personalized, scalable, immersive and interactive sound content.

### RESUMEN.

El proyecto JAULAB surge desde el grupo de Acústica de la UPNA con el objetivo de, a través del arte, acercar el trabajo realizado en el Laboratorio de Acústica a espacios menos habitados al lenguaje científico y tecnológico. Para ello, se propuso a artistas de diferentes disciplinas la creación de una instalación sonora para experimentar con escenas sonoras en 3D. Se contactó con el Departamento de Escultura de la Escuela de Arte y Superior de Diseño de Pamplona, que se hizo cargo del diseño de la estructura principal. La estructura se construyó en la Fundación Elkarte, un centro que tiene como objetivo formar a colectivos de reinserción social en el ámbito de la soldadura. Asimismo, con la colaboración del grupo UpnaLab que fomenta la cultura Maker, se diseñaron e imprimieron los altavoces para la instalación. Los usuarios finales de la instalación pueden introducirse en una esfera de 3 metros de diámetro y son rodeados por 24 altavoces independientes que generan audio en forma de contenido sonoro personalizado, escalable, inmersivo e interactivo.

### 1. MOTIVACIÓN

La mayoría de los procesos de aprendizaje tienen lugar en un AULA, un término de cuatro letras, tantas como las paredes que la delimitan. Esta restricción espacial dificulta integrar y desarrollar lo aprendido. Explorar a través del arte más allá de esos límites, como quien añade nuevas dimensiones a un universo ya conocido, es el objetivo del Proyecto J-AULA-B. En este proyecto cuatro instituciones docentes, una universidad, un conservatorio, un centro formativo de grado superior y una fundación, han colaborado en la creación de una instalación sonora para experimentar con escenas sonoras 3D.

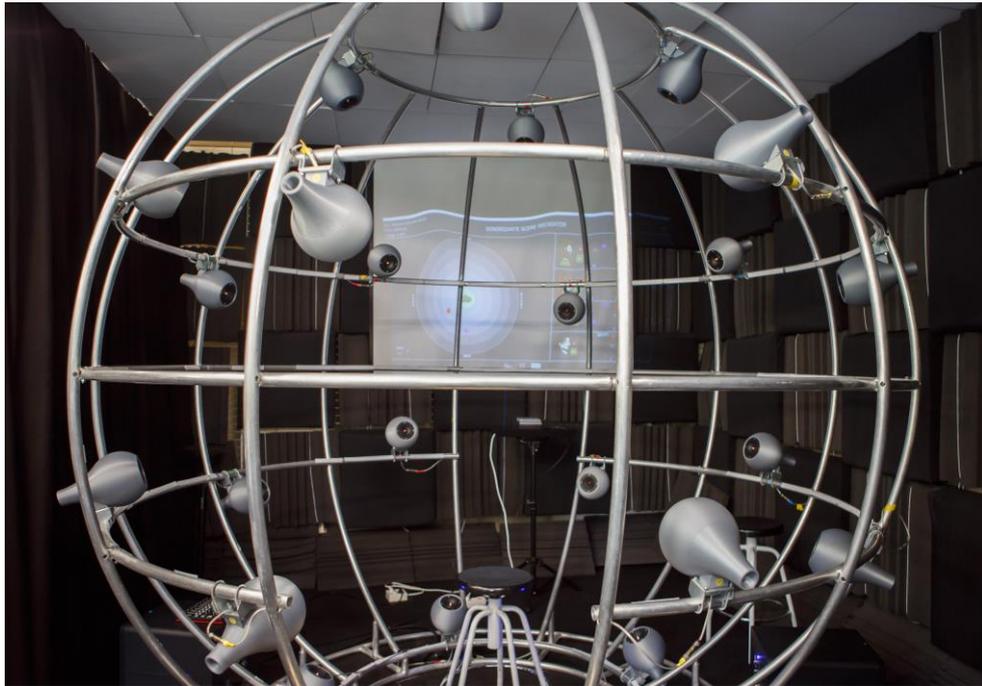


Figura 1 – Vista de la instalación sonora ya terminada, en el laboratorio de sonido inmersivo de la UPNA

El audio en tres dimensiones o sonido inmersivo es un formato en auge gracias al desarrollo de los videos en 360° y la realidad virtual. Su objetivo es conseguir experiencias sonoras completamente inmersivas, donde se puedan reproducir con fidelidad escenas cotidianas o creadas artificialmente. Sus aplicaciones son muy diversas: desde la grabación de paisajes sonoros hasta la producción de canciones para experiencias tridimensionales. Aunque goza en la actualidad de relativo éxito, el mundo de la investigación y el del arte están muy separados. Así nace JAULAB, un proyecto que pretende unir el trabajo de investigación diario en un laboratorio con otros espacios menos habituados al lenguaje científico y tecnológico.

El proyecto surge en el año 2020, año elegido por la Comisión Internacional de Acústica (International Commission for Acoustics – [icacomission.org](http://icacomission.org)) como el Año Internacional del Sonido (International Year of Sound – [sound2020.org](http://sound2020.org)), una iniciativa global que pretende resaltar la importancia tanto del sonido como de las ciencias y tecnologías con él relacionadas. Consiste en un conjunto de actividades coordinadas a nivel local, regional, nacional e internacional que tienen como objetivo reflexionar sobre el papel que juega el sonido en diferentes ámbitos de la sociedad moderna, desde el puramente comunicativo al musical o artístico. Al mismo tiempo, la iniciativa fomenta la necesidad de controlar los ambientes sonoros en la naturaleza y en los espacios de trabajo y ocio, con el objetivo de garantizar entornos de relación humana saludables y seguros. En este contexto, en el grupo de investigación Acústica de la Universidad Pública de Navarra nos planteamos, a través del arte, acercar el trabajo realizado en el Laboratorio de Acústica al resto de la sociedad.

Los objetivos iniciales fueron:

- a) Fomentar la colaboración entre artistas y científicos poniendo en manos de creadores herramientas habitualmente utilizadas sólo en entornos de investigación.
- b) Explorar con estudiantes de ingeniería las posibilidades que brinda el arte para aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera.
- c) Acercar la universidad a la sociedad mediante la participación en el proyecto de colectivos ajenos a la comunidad universitaria.
- d) Reflexionar sobre el papel del sonido en la sociedad moderna y la necesidad de crear entornos sonoros saludables.

## 2. PARTICIPANTES

Desde el grupo de Investigación Acústica de la UPNA se coordinó el proyecto y dirigió la implementación de los algoritmos de presentación específicos requeridos para la instalación, junto con las necesidades técnicas desde el punto de vista acústico. También dentro de la UPNA, con la colaboración del grupo UpnaLab, que fomenta la cultura maker, se diseñaron e imprimieron los 24 altavoces con los que cuenta la instalación. Además, la Unidad de Audiovisuales del Centro Superior de Innovación Educativa colaboró en las presentaciones de carácter audiovisual relacionadas con la ejecución y difusión del proyecto.

El diseño de la estructura principal corrió a cargo del Departamento de Escultura de Escuela de Arte y Superior de Diseño de Pamplona. Este es un centro público del Gobierno de Navarra dedicado a la enseñanza de disciplinas que aúnan los aspectos artísticos junto con los técnicos. Es responsable de la impartición del Ciclo Formativo Grado Superior en Técnicas Escultóricas.

Por su parte, la Fundación Elkarte se encargó de la fabricación de la estructura. Elkarte es un centro creado con el objetivo de formar a colectivos de reinserción social dentro del ámbito de la soldadura.

Asimismo, el proyecto se abrió a estudiantes de últimos cursos del Conservatorio Superior de Música de Navarra (CSMN) que estudian la especialidad Composición. Con las herramientas proporcionadas, investigaron en sus creaciones las nuevas posibilidades técnicas y compositivas que la instalación proporciona.

Y ya en cuanto a la parte puramente artística y creativa, el grupo Demode Quartet prestó su imagen y música para un juego interactivo, y los DJs del colectivo DiosLosCría, asociación cultural multidisciplinar formada por amantes de la música electrónica, exploraron en el laboratorio las prestaciones que el audio espacial y la instalación en particular pueden ofrecer para añadir nuevas capas y texturas a sus sesiones.

## 3. FASES

El proyecto JAULAB ha contado con cinco fases diferenciadas en cuanto a lugar de realización y destinatarios a los que están dirigidas.

### 3.1. Academia

Esta fase se desarrolló en el ámbito académico universitario y se dirigió, en primer lugar, a estudiantes de últimos cursos de los grados en ingeniería informática, ingeniería en tecnologías de telecomunicación e ingeniería eléctrica y electrónica. Se contactó con posibles voluntarios utilizando los medios de difusión de la asociación i2tec, una asociación estudiantil cuyo objetivo es el impulso y difusión de la tecnología electrónica. De esta manera, se involucró a estudiantes de últimos cursos de carrera mediante la oferta de Trabajos Fin de Estudios [1-5] y Becas de Colaboración.

Asimismo, se realizaron acciones formativas en el laboratorio de acústica tanto para los estudiantes del Conservatorio Superior de Música de Navarra como para los DJs del colectivo DiosLosCría. En ellas se analizaron y exploraron las posibilidades que ofrece la instalación y se puso a disposición de los creadores herramientas de simulación que facilitaron su proceso creativo. Asimismo, se recogieron sus sugerencias y necesidades en cuanto al diseño de experiencias de interacción con su obra una vez expuesta.

Partiendo de las necesidades técnicas que a nivel creativo se plantearon desde las diferentes propuestas artísticas, se clasificaron las tareas a realizar y se repartieron entre los voluntarios en función de sus gustos, inquietudes y potencial, surgiendo necesidades en cuanto a programación de interfaces de usuario y desarrollo de algoritmos relacionados con el audio y la imagen.

### 3.2. Bastidor

En coordinación con el Departamento de Escultura de la Escuela de Arte y Superior de Diseño de Pamplona y la Fundación Elkarte se diseñó y construyó la estructura final que albergaría los altavoces (ver Figura 2). Frente a otros diseños como las estructuras formadas por triángulos, se decidió construirla de forma esférica por su facilidad para trasladarla y por el impacto visual que ofrece.

La estructura es una esfera de 2.9 metros de diámetro construida con tubos de metal huecos, lo cual permite cablear toda la instalación por dentro. Consta de cinco tubos horizontales y doce verticales que, colocados cada 30°, dan mucha flexibilidad a la hora de colocar los altavoces. Además, se puede desmontar fácilmente para trasladarla, ya que está dividida en 6 gajos y una base. Para ello, los cables están colocados de forma que no cruzan de un gajo a otro.

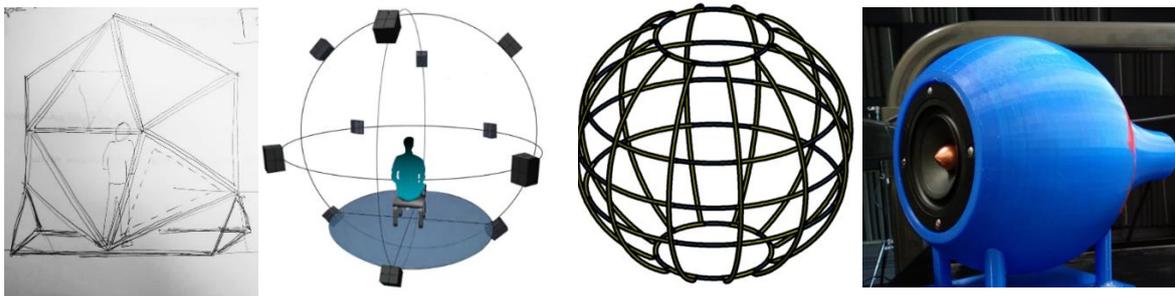


Figura 2 – Primeras ideas y bocetos de la instalación propuesta (izda), diseño de la instalación (centro) y prototipo de altavoz fabricado con impresora 3D (dcha).

La disposición habitual es de 24 altavoces independientes, colocados en una disposición 7-desgin. Los altavoces fueron diseñados ad hoc para la estructura. Las cajas de los altavoces están hechas con impresoras 3D y han sido diseñadas e imprimidas por el grupo UpnaLab con PLA gris. Para ello se ha recurrido a un modelo de forma esférica con una bocina en su parte trasera. Esta forma optimiza tanto la salida de audio como la reducción de las reflexiones traseras. Su tamaño ha sido adaptado para los transductores Dayton Audio PS95-8 full-range, los cuales se ajustan a la impresión con cuatro tornillos.

Aunque permite presentar audio en otros formatos como VBAP [6], Wavelet-based Spatial Audio Format [7, 8] o, modificando las posiciones de los altavoces, investigar algunas de las prestaciones de Wave Field Synthesis [9], el formato con el que más se trabaja en la instalación es Ambisonics [10]. Esta tecnología permite tanto la grabación como la codificación de campos sonoros y su reproducción en diversos sistemas de sonido. Además, la amplia gama de herramientas existentes en la actualidad para manipular y trabajar con señales Ambisonics la convierten en la tecnología más versátil para los diferentes usos de la instalación.

Ambisonics se basa en la codificación del campo sonoro un punto en términos de armónicos esféricos. Cada coeficiente de la serie de expansión, o armónico esférico, corresponde a un canal Ambisonics. Sin embargo, los canales Ambisonics no portan la señal de salida de los altavoces, y estos deben ser decodificados para poder ser reproducidos correctamente. El orden de la señal está relacionado con el número de altavoces necesarios para una correcta decodificación. Actualmente, JAULAB está diseñado para señales ambisónicas de tercer orden y por ello cuenta con 24 altavoces.

### 3.3. Creación

Con el objetivo de atraer a un público diferente y diverso fuera del ámbito académico, en el proyecto se ha colaborado con artistas de diferentes perfiles. Por un lado, representando quizás una formación académica más tradicional, los futuros graduados en Composición Musical del

Conservatorio Superior de Música de Navarra. Por otro, representando por lo general una formación alternativa llevada a cabo bajo los parámetros de la investigación tanto personal como colaborativa, algunos de los DJs de referencia en la música electrónica de corte underground y más activos en la escena de nuestra comunidad. Para ello se programaron sesiones donde se explicó la base teórica del proyecto, cómo podían adaptar las herramientas a su terreno y se realizaron sesiones de carácter práctico para transformar sus ideas en 'música tridimensional'.

Los enfoques diferentes ofrecidos por estos dos grupos (uno más clásico y el otro más moderno o electrónico) dieron lugar a trabajos muy diversos, lo que permitió comprobar la versatilidad de la instalación. Los alumnos del conservatorio crearon obras que podían ser reproducidas tanto en la esfera como por una orquesta en su formato tradicional. Esta última presentación suprimía la espacialidad de las obras creadas, pero permitió mostrar las diferencias entre un auditorio y la instalación.

En cambio, los disk-jockeys se centraron en crear canciones expresamente para escuchar con espacialidad, tanto en la instalación como mediante auriculares mediante un proceso de binauralización. También se hicieron experiencias de sesiones en directo para el interior de la esfera.



Figura 3 – Talleres de formación realizados.

Estas sesiones y experiencias resultaron de gran utilidad para conocer las necesidades técnicas a nivel creativo planteadas desde las diferentes propuestas artísticas, que fueron implementadas mejorando las prestaciones de la instalación. Esta fase creativa se extenderá próximamente al público en general, que podrá utilizar la instalación para componer sus propias escenas sonoras.

### **3.4. Interacción**

Una de las características menos exploradas en el mundo del audio pero que está integrándose paulatinamente en los contenidos sonoros es la interactividad con el usuario final. La interacción permite a los productores de contenido añadir más funcionalidades y personalización, generando una audiencia activa. Este proyecto también ha explorado esta dimensión, para lo que se han desarrollado varias aplicaciones que han permitido manejar en tiempo real los sonidos reproducidos en la instalación de diferentes maneras.

En una primera instancia, se hizo uso de un dispositivo MIDI que permite mover fuentes de sonido dentro de la instalación en directo [1, 11]. Posteriormente se introdujeron diferentes elementos como tokens o fichas, que reflejan fuentes de sonido en un espacio que simula los alrededores de la instalación; o como un dispositivo touchless (Ultraleap Stereo IR 170) que reconoce los movimientos y gestos y permite interactuar con la escena reflejada en una pantalla [3].

El estudio de estos dispositivos tan diversos nos ha permitido comprobar la dificultad de la interacción touchless sin referencias visuales con el audio, convirtiéndose en una nueva línea de investigación activa para el grupo que está generando enriquecedoras alianzas con grupos de investigación no especializados en audio.



Figura 4 – Diversas demostraciones de los dispositivos touchless implementados en la instalación.

### 3.5. Investigación

Por último, la instalación se ha convertido también en una herramienta de investigación que ha sido utilizada para presentar audio 3D en entornos de laboratorio, generando resultados de carácter científico.

Así, por ejemplo, se ha investigado la localización de fuentes con Ambisonics de tercer orden. Para ello, se ha desarrollado una aplicación donde los sujetos debían situar una fuente de sonido en una posición de referencia [11]. Se ha querido comparar fuentes de origen biofónico o antropofónico con origen cotidiano (móvil, perro, martillo, rana...) con lo que se ha querido investigar la percepción de los sujetos.

En otro orden, se ha comparado la precisión en la localización espacial de Ambisonics de primer y tercer orden con otros formatos propuestos. Spherical Wavelet Format (SWF) [7, 8] es una nueva codificación para audio espacial que reemplaza los armónicos esféricos de Ambisonics por un conjunto de funciones más localizadas, los wavelets esféricos. Su objetivo es mejorar la localización de Ambisonics, en especial en órdenes bajos. La comparativa entre estas dos técnicas se hizo mediante listening tests, con un panel de 18 sujetos [12].

También se han comparado las prestaciones de diferentes técnicas de upmixing. Los upmixers de Ambisonics sirven para obtener señales de órdenes altos partiendo, generalmente, de señales de primer orden. Entre ellas destacan DirAC, Harpex y COMPASS. Utilizando la instalación como dispositivo para la presentación de audio, se analizaron dichas técnicas y programaron listening tests con sujetos reales para compararlas [13].

#### **4. DIVULGACIÓN**

Las actividades relacionadas con la divulgación del proyecto (ver Figura 5) se están llevando a cabo de dos formas distintas. Por un lado, el uso y la presentación de la instalación en el propio laboratorio de sonido inmersivo de la UPNA, donde alumnos de diferentes grados de la universidad, investigadores, profesores, conocidos y personas relacionadas con la institución han podido pasar a disfrutarla y a hacer diversas pruebas de sonido. Esta parte ha sido particularmente relevante ya que ha servido para probar y mejorar las exhibiciones que se han llevado fuera de la universidad. Por otro lado, la instalación se ha trasladado a diferentes festivales y eventos de carácter artístico y académico, donde se ha dado a conocer al público general.

El Festival Entornos (Cintruénigo, 2-5 septiembre de 2021), nace como un evento donde generar entornos de dialogo entre diferentes disciplinas y agentes culturales. Para ello se crea un espacio donde la música y el arte urbano conviven para desarrollar su propio discurso y dialogar entre las mismas. Durante el festival, se mostraron en la instalación varias de las obras creadas en la colaboración con DJs y productores.

El NAK Festival (CSMN, 16-20 de septiembre de 2021), el festival de música contemporánea de Navarra, tiene como filosofía componer, interpretar y promover la difusión de música contemporánea de nueva creación y conformar un centro de autoras, autores e intérpretes de referencia en este ámbito. Organizado por el Centro de Música Contemporánea Garaikideak, NAK es un espacio de investigación, creación e interpretación musical que genera espacios de debate, pensamiento y reflexión. A este festival se acudió con las creaciones de los alumnos del Conservatorio superior de Música de Navarra. Asimismo, se participó en el X aniversario de la Ciudad de la Música (CSMN, 21-29 de octubre de 2021), donde se expusieron todas las obras creadas.

En un formato más académico, con la idea de dar a conocer a la comunidad universitaria y, sobre todo, al alumnado, se ha trasladado la estructura a diferentes actos organizados por la Universidad Pública de Navarra: Noche de los Investigadores (Civican Pamplona, 24 de septiembre de 2021), Semana de la Ciencia (UPNA, 16-19 de noviembre de 2021), 1ª Jornada Pharus (UPNA, 30-31 de marzo y 1 de abril de 2022). Estos actos se organizan para sacar a la calle el trabajo que se hace durante el año en los diferentes grupos de investigación y en los laboratorios. Finalmente se asistió al 2º Encuentro Maker 2022 Dictel (Estella, 14 de mayo de 2022), donde se presentan talleres, exhibiciones y charlas que comparten el espíritu de innovación abierta. Estos eventos de perfil más tecnológico han servido para promocionar, en nombre de la UPNA, tanto las nuevas aulas de Realidad Virtual y el Espacio Maker, como los grados del área de Informática y Telecomunicación que harán uso de ellas.

Por último, se ha creado una página web ([jaulab.github.io](http://jaulab.github.io)) donde, además del acceso a estas experiencias, se recopilará todo el material asociado al proyecto en forma de vídeos "making-of", entrevistas con los creadores sonoros, impresiones de los voluntarios que están colaborando, explicaciones de las técnicas de renderización de audio 3D y tutoriales para la producción de material audiovisual para realidad virtual. En esta página se implementarán también diversas pruebas basadas en auralizaciones, a modo de listening tests, que servirán como demostración del trabajo realizado en los grupos de investigación implicados en el proyecto en torno al análisis de la percepción sonora y las variables que influyen en ella.

La generación de nuevos entornos inmersivos como composiciones, juegos o demostraciones interactivas que podrán ser experimentados mediante gafas de realidad virtual servirá para alcanzar un público más numeroso que con la actual instalación, que únicamente permite la interacción individual, asegurando una mayor difusión del proyecto.

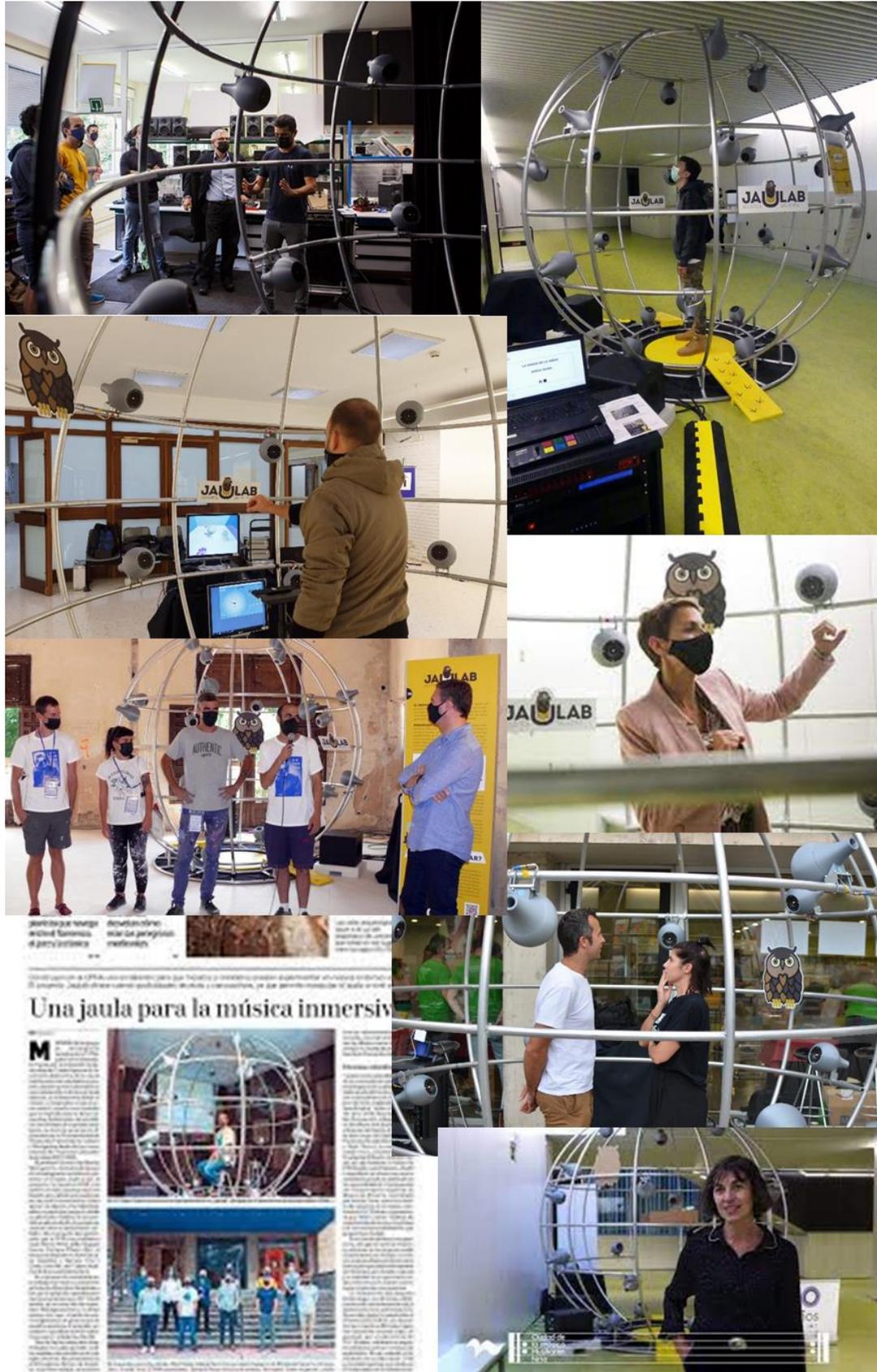


Figura 5 – Actividades relacionadas con la difusión del Proyecto JAULAB.

## 5. CONCLUSIONES

“JAULAB - más allá del aula” es un proyecto en el que un grupo de personas de diferentes disciplinas relacionadas con la ciencia, la tecnología y las artes han construido una instalación donde experimentar con audio de última generación. Esta herramienta se ha puesto en manos de creadores sonoros que han explorado las prestaciones que el audio espacial puede ofrecer en sus composiciones. El resultado ha sido mostrado al público en diferentes festivales y eventos.

Además de divulgar el trabajo realizado en los diferentes grupos de la UPNA a los que pertenecen sus participantes, el proyecto tuvo, para estudiantes de últimos cursos de los grados implicados, implicaciones docentes y de iniciación a la investigación. La instalación se ha convertido en una herramienta idónea para la realización de análisis psicoacústicos relacionados con el audio espacial, tema de investigación de creciente interés. De esta manera, se ha completado el ciclo ciencia, tecnología, arte y, de nuevo, ciencia, en el que, abordando un proyecto desde diferentes perspectivas, todos los colectivos se enriquecen.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo prestado por todas las personas e instituciones que con sus aportaciones han contribuido a enriquecer este proyecto.

El Proyecto JAULAB ha sido financiado por las convocatorias de Proyectos Culturales de la Universidad Pública de Navarra de los años 2020 y 2021. Asimismo, ha sido seleccionado como Proyecto de Divulgación en la convocatoria de ayudas para la realización de actividades de divulgación científica de la Universidad Pública de Navarra de 2022.

## REFERENCIAS

- [1] R. Eguinoa, «Aplicación para la recreación de escenas sonoras tridimensionales,» *Trabajo Fin de Estudios, Universidad Pública de Navarra*, 2020.
- [2] R. Marín Hernández, «Diseño e implementación de plugins para la transformación de señales ambisonics,» *Trabajo Fin de Estudios, Universidad Pública de Navarra*, 2020.
- [3] F. Merino Pinedo, «Comparing tangible and mid-air interfaces for interacting with a 3D audio controller,» *Trabajo Fin de Estudios, Universidad Pública de Navarra*, 2022.
- [4] S. Castillo, «Diseño y construcción de un head-tracker para aplicaciones de sonido inmersivo,» *Trabajo Fin de Estudios, Universidad Pública de Navarra*, 2020.
- [5] A. Pérez García, «Técnicas paramétricas de upmixing en ambisonics: evaluación perceptual,» *Trabajo Fin de Estudios, Universidad Pública de Navarra*, 2021.
- [6] V. Pulkki, «Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning,» *Journal of the audio engineering society*, vol. 45, nº 6, pp. 456-466, Junio 1997.

- [7] D. Scaini, «Wavelet-based spatial audio framework : from ambisonics to wavelets: a novel approach to spatial audio,» 2019.
- [8] D. Scaini y D. Arteaga, «Wavelet-Based Spatial Audio Format,» *Journal of the audio engineering society*, vol. 68, nº 9, pp. 613-627, Septiembre 2020.
- [9] A. J. Berkhout, D. Vries y P. Vogel, «Acoustic control by wave field synthesis,» *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 93, p. 2764, 05 1993.
- [10] F. Zotter y M. Frank, *Ambisonics*, Springer, 2019.
- [11] R. Eguinoa, R. San Martín y M. Arana, «Sound Scene Recreator: Herramienta para investigar la percepción de paisajes sonoros,» de *XI Congreso Ibérico de Acústica TECNIACÚSTICA 2020*, Portugal (e-congress), 2020.
- [12] R. Eguinoa, R. San Martin, D. Arteaga y D. Scaini, «Subjective Evaluation of the Localization Performance of the Spherical Wavelet Format Compared to Ambisonics,» de *Immersive and 3D Audio: from Architecture to Automotive (I3DA)* , Bolonia, 2021.
- [13] A. Sagasti, A. P. Pietrzak, R. San Martín y R. Eguinoa, «Localization of sound sources in binaural reproduction of first and third order ambisonics,» *68th Open Seminar on Acoustics*, Solina, Poland, september 2022. *Archives of Acoustics* 47(3), 438, 2022.
- [14] I. E. M. Acoustics, «IEM Plug-in Suite,» 1 09 2022. [En línea]. Available: [plugins.iem.at](http://plugins.iem.at).