

REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS Y DISEÑO DEL PAISAJE SONORO

Octavio Lopez

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
<https://orcid.org/0009-0001-3581-3066>
octavio.lopez@mi.unc.edu.ar

Germán Baigorri

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
<https://orcid.org/0009-0007-2897-1916>
german.baigorri@unc.edu.ar

Arturo Maristany

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
<https://orcid.org/0000-0003-1916-346X>
amaristany@unc.edu.ar

DOI: <https://doi.org/10.59047/2469.0724.v9.n11.41069>

Resumen

Este trabajo se orienta a realizar un aporte acerca de las herramientas y técnicas posibles destinadas al estudio de los paisajes sonoros y de los sonidos que lo constituyen, incorporándolos como variable en el diseño de un espacio público abierto. El diseño del paisaje sonoro implica integrar distintos componentes que ayuden no solo a mitigar ruidos molestos, sino que a su vez aporten a la calidad de vida de los espacios exteriores. La propuesta se basa en una metodología que busca incorporar nuevas herramientas enmarcadas en la experiencia inmersiva y aumentada utilizando la realidad virtual. Se propuso y verificó una técnica de evaluación de escenas sonoras para el diseño de espacios urbanos abiertos, incorporando en el proceso el uso de realidad virtual o aumentada. Se realizó un relevamiento del sitio de estudio, su simulación en la realidad virtual a través de un modelo 3D y finalmente se analizó una intervención de carácter paisajista sobre el sitio seleccionado con la correspondiente auralización de la escena sonora. La técnica permite profundizar el estudio de las variables que influyen en la percepción sonora de los espacios exteriores, los tipos de fuentes y el nivel de percepción y/o molestia que producen en los usuarios, a fin de brindar un mayor confort acústico al usuario producto de una mejora en la calidad sonora del espacio a través de su diseño.

Palabras claves: paisajes sonoros, realidad virtual, paisaje, diseño, espacio público

Fecha recepción: 30 de abril de 2023

VIRTUAL REALITY AS A SOUNDSCAPE ANALYSIS AND DESIGN TOOL

Abstract

This work aims to make a contribution about the possible tools and techniques for the study of soundscapes and the sounds that constitute it, incorporating them as a variable in the design of an open public space. Soundscape design involves integrating different components intended not only to mitigate annoying noise, but also contribute to the quality of life in outdoor spaces. The proposal is based on a methodology that seeks to incorporate new tools framed in the immersive and augmented experience using virtual reality. A sound scene evaluation technique for the design of open urban spaces was proposed and verified, incorporating the use of virtual or augmented reality in the process. A survey of the study site was carried out, its simulation in virtual reality through a 3D model and finally a landscaping intervention was analyzed on the selected site with the corresponding auralization of the sound scene. The technique makes it possible to delve into the study of the variables that influence the sound perception of outdoor spaces, the types of sources and the level of perception and/or annoyance they produce in users.

Keywords: soundscapes, virtual reality, landscape, design, public spaces

Fecha aceptación: 10 de noviembre de 2023

Introducción

El campo de la acústica ambiental se encarga de investigar y estudiar el ambiente sonoro de diversos espacios, evaluando cómo influye y afecta el ruido al ambiente y a los usuarios circundantes. El paisaje sonoro (soundscape) forma parte de la acústica ambiental enfocando el estudio de la problemática desde la capacidad de los sonidos de dar identidad y calidad a un espacio público abierto, profundizando el estudio de las variables que afectan la percepción acústica de los espacios exteriores, incluyendo los tipos de fuentes de sonido, el nivel de molestia y/o percepción que causan en los usuarios. Desde este planteamiento se considera que el ambiente urbano no debería ser solamente aceptable, sino que debería ser un ambiente que promueva reacciones positivas, aportando nuevos beneficios, promover la salud, la interacción social y proporcionar bienestar físico, mental y social, generando un impacto positivo en la población y los usuarios de los espacios públicos.

El término Soundscape conocido como paisaje sonoro se enfoca en el estudio y análisis de los parámetros y problemáticas de los ambientes acústicos en los espacios urbanos de uso colectivo. El concepto es propuesto por R. Murray Schafer, el cual entiende “el sonido no como un elemento físico del medio, sino como elemento de comunicación e información entre el hombre y el medio (urbano, rural o natural)” y, definiéndolo, como “el campo total de sonidos donde quiera que estemos”. El mismo consiste en la apreciación de sonidos naturales, como también se refiere a sonidos ambientales creados por el ser humano. La introducción del concepto de paisaje sonoro concibe un nuevo enfoque en la investigación acústica provocando diversas líneas de investigación en relación al paisaje sonoro y la creación de una serie de conceptos que influyen en el mismo como: keynotes, medio ambiente sonoro, identidad sonora, entre otros. (Schafer, 1977).

El concepto desarrollado por Schafer sobre el "paisaje sonoro" parte como una forma de describir los sonidos que rodean a las personas en su entorno diario. Según él, el paisaje sonoro está compuesto por tres elementos principales: la fuente sonora, la percepción del oyente y el entorno físico en el que se encuentran tanto la fuente como el oyente.

En sus estudios diferencia los ambientes acústicos como “hi-fi” (alta fidelidad) y “lo-fi” (baja fidelidad). Los ambientes hi-fi son aquellos donde los sonidos que caracterizan el ambiente se perciben con nitidez, donde se perciben claramente los diferentes “planos sonoros”, en su contra parte aquellos ambientes denominados lo-fi son característicos de aquellos espacios donde los sonidos con significado son ven enmascarados producto del ruido producido por el entorno.

Schafer, ha desarrollado la teoría de que la sociedad postindustrial ha creado un paisaje sonoro caótico y desconcertante, en el que los sonidos con significado se enmascaran con el ruido de fondo. Es por esta razón que un ambiente natural ideal es aquel donde prevalece un paisaje sonoro hi-fi, donde los sonidos se mantienen cíclicos y estacionales.

Asimismo, el concepto de paisaje sonoro ha sido utilizado para estudiar el impacto acústico en áreas urbanas y rurales. Los estudios muestran que la contaminación acústica puede tener efectos negativos en la salud física y mental de las personas, incluyendo el estrés, la ansiedad y la pérdida auditiva. Para analizar el paisaje sonoro de un entorno urbano específico, se debe de realizar un relevamiento del espacio con el fin de identificar y clasificar las diversas fuentes sonoras que se presentan, pudiendo analizar y evaluar si poseen un impacto negativo o positivo en el ambiente acústico. Estas fuentes no solo se analizan desde una perspectiva física y cuantitativa a través de indicadores acústicos, sino que a su vez se debe de realizar una evaluación y análisis desde un punto de vista cualitativo y semántico. Diferentes criterios se han utilizado para clasificar los sonidos subjetivamente, como la categorización semántica basada en la presencia de sonidos humanos, animales, elementos naturales, actividades y objetos (Guyot et al., 2005).

Para analizar el paisaje sonoro de un entorno urbano, es necesario identificar y clasificar las fuentes sonoras que tienen un impacto negativo o positivo en el ambiente acústico. Estas fuentes se pueden clasificar en sonidos

artificiales, sonidos naturales producto del flujo de agua y del viento y sonidos sociales generados a partir de la interacción entre las personas (Ge y Hokao, 2004). Otro aspecto importante a considerar en el estudio de los paisajes sonoros es la percepción subjetiva de los usuarios y su relación con el espacio sonoro. Por ejemplo, el estudio de Kang y Zhang (2010) sobre la relación entre la percepción subjetiva del ruido del tráfico y la calidad del paisaje sonoro en áreas urbanas mostró que los sonidos de la naturaleza y los sonidos del tráfico tienen un impacto significativo en la calidad del paisaje sonoro y, por lo tanto, en la percepción subjetiva de los usuarios.

Es por esto que el estudio de los paisajes sonoros es esencial para comprender cómo los seres humanos interactúan con su entorno acústico. La identificación y clasificación de las fuentes sonoras, el análisis físico y semántico de los sonidos, la medición del nivel de ruido y la percepción subjetiva de los usuarios son algunos de los aspectos clave en el estudio de los paisajes sonoros. La comprensión de estos aspectos puede ayudar a crear entornos sonoros más agradables y saludables.

Uno de los atributos de las sociedades contemporáneas es el ruido ambiental, también conocido como ruido urbano, compuesto por todas las fuentes emisoras (transporte, tránsito, aviones, construcción, etc.) constituye uno de los principales factores contaminantes de las ciudades. Diversos informes de la Organización Mundial de la Salud, indican que la exposición al ruido puede generar efectos nocivos en la salud de las personas. Tanto el ruido ocupacional como el ruido ambiental son factores de riesgo para la deficiencia auditiva. Otras fuentes que pueden causar una considerable emisión de ruido son la construcción, la industria y los trabajos que se efectúan en la vía pública.

En un mismo ambiente existen fuentes sonoras que se caracterizan por ser episódicas, como las sirenas de vehículos de servicio, que impactan de manera negativa en las personas. El ruido producido por actividades recreativas tiene, de igual forma, una importancia social considerable; en este grupo se pueden mencionar como ejemplo las voces de niños jugando en un parque, los gritos de personas reunidas en eventos deportivos o la música de conciertos al aire libre.

Tradicionalmente los estudios socio acústicos se han enfocado en evaluar los aspectos negativos del ruido (efectos en la salud, molestia, perturbación, etc.). Una de las tendencias actuales en la acústica urbana es poner mayor énfasis en el diseño del ambiente sonoro, yendo más allá que la simple reducción de ruido. El sonido presente en un paisaje sonoro es capaz de tener un alto contenido semántico, y por tanto tiene un significado particular para el receptor. Esto permite considerar el sonido como uno de los factores que definen el sentido de "lugar" o "no lugar" de un determinado espacio al igual que su calidad para el usuario, de esta manera como indican los estudios de Schafer la presencia de determinados sonidos característicos de un espacio ayudan no solo en la identificación del espacio en sí, sino también en el desarrollo del sentimiento de pertenencia e identidad de diversas comunidades pudiendo diferenciarse a través de la caracterización del paisaje sonoro en el que habitan.

La nueva tendencia en la investigación del ruido urbano se inclina por analizar el sitio desde un punto de vista multisensorial, incorporando no solo el sonido si no también el apartado visual, donde se busca poder analizar el ambiente sonoro desde un punto de vista integral. Las investigaciones sugieren que el sonido y la imagen son dos variables fuertemente relacionadas, razón por la cual el análisis de la calidad urbana debería contemplar, además de criterios visuales, los relacionados con el paisaje sonoro. El paisaje sonoro es el entorno sonoro concreto de un lugar real dado, que se puede percibir e interpretar por los oyentes. El paisaje sonoro se compone de eventos escuchados y no de objetos vistos, y puede ser estudiado desde diferentes perspectivas, como la ecología acústica, el diseño acústico o la comunicación.

Con el tiempo se desarrolló el concepto de Ecología Acústica, la cual abarca la problemática desde un enfoque más integral del estudio de la relación entorno sonoro - hombre. De esta forma analiza y define el comportamiento de las personas en determinados paisajes sonoros y sus respuestas a distintos estímulos sonoros. De esta manera aboga por poder definir una serie de factores y principios por los cuales un determinado paisaje sonoro puede ser modificado y mejorado, incidiendo en el entorno de manera positiva. Es por esto que resulta menester que se tenga una concepción y mirada integral del diseño de los espacios públicos y urbanos en las ciudades actuales,

incorporando la gestión y diseño de los distintos paisajes sonoros que integran la ciudad. La incorporación y manejo de este concepto es fundamental ya que el mismo tiene una gran incidencia en la calidad y confort de la población.

En un contexto de constante desarrollo y cambio es primordial poder contar con una metodología de trabajo interdisciplinaria que busque no solo poder abarcar nuevas variables e incógnitas que se presentan, si no poder generar una investigación más profunda y detallada, incorporando nuevos conceptos y factores a tener en cuenta a la hora de diseñar. Diversos trabajos (Jo y Jeon, 2022; To, Chung & Schulte-Fortkamp, 2016) desarrollaron entornos de evaluación de realidad virtual subjetiva, proporcionando consideraciones cruciales para la planificación y el análisis de percepciones audiovisuales de contextos urbanos. Se pudo determinar que los componentes perceptivos positivos o negativos del paisaje sonoro se percibían más claramente en el entorno de realidad virtual para las pruebas de laboratorio. En algunos casos el desarrollo de software de aplicación virtual permite al usuario experimentar diferentes entornos sonoros cuando camina por diferentes caminos. La grabación y post procesamiento de un ambiente sonoro, emulando las condiciones en que se realiza la audición humana, busca obtener un sonido espacial donde el oyente sea capaz de detectar las fuentes de sonido del espacio.

Debido a los avances tecnológicos, es posible acceder a un nuevo tipo de experiencia audiovisual: la realidad virtual (VR) o realidad aumentada. A través de un visor se puede obtener una visión absoluta en 360° grados del paisaje y sus sonidos captados, pudiendo emular una situación ya sucedida o propuesta. Incorporando el uso de nuevas tecnologías de realidad aumentada se busca ahondar en el desarrollo y estudio de variables que influyen en la percepción acústica, tipos de fuentes sonoras, niveles de percepción y exposición entre otros factores, buscando la calidad sonora del espacio para brindarle confort acústico al usuario. Las variables de sonido e imagen están fuertemente ligadas, es por esto que las nuevas tendencias en la investigación y estudio de paisajes sonoros buscan indagar los aspectos multisensoriales de los espacios sonoros, incorporando nuevos medios de reproducción e interacción como los medios visuales o realidad aumentada.

El uso de la realidad virtual por arquitectos, diseñadores y planificadores en el diseño acústico del paisaje es una forma de aprovechar las ventajas de esta tecnología para crear y recrear ambientes sonoros que se adapten a las características y necesidades de cada proyecto. La técnica permite diseñar y levantar los edificios antes de que existan en la realidad, anticipando problemas en el uso de materiales, orientación de la estructura, la división de los espacios, entre otros y estudiar el impacto acústico de las obras en el entorno y la salud de las personas, así como proponer soluciones para reducir la contaminación sonora.

Propuesta metodológica

El objetivo principal de este trabajo es implementar y verificar una metodología de análisis de situaciones reales y evaluación de potenciales intervenciones paisajísticas mediante el uso de la realidad virtual o realidad aumentada. A través del análisis de un determinado entorno, se busca identificar y dotar de carácter sonoro a un conjunto de espacios urbanos de similares condiciones urbanas, pero con diferentes usos y actividades, buscando de esta forma analizar el espacio a través de la calidad de su paisaje sonoro, relacionando la condición acústica a través de los distintos aspectos que componen el paisaje urbano, como lo son el mobiliario, actividades y programa, materialidades, presencia de automóviles, fuentes de agua, vegetación, etc.



Figura 1. Vista aérea caso de estudio. **Fuente:** Google Earth

Para la selección del caso de estudio, figura 1, se propuso trabajar con la cátedra de Arquitectura Paisajista B de la carrera de Arquitectura de la FAUD-UNC, en la cual se entiende a la arquitectura paisajista como una “arquitectura sin techo”, donde los condicionantes naturales se expresan y conviven con los usuarios.

Para este trabajo se toma como sector de análisis una porción de la Ciudad Universitaria de la UNC. El campus está compuesto por un predio de 1.115 hectáreas ubicada en el sector suroeste de la Ciudad de Córdoba, Argentina. En este lugar se encuentran la mayoría de las Facultades de la Universidad Nacional de Córdoba, caracterizada por una gran variedad edilicia en tanto “arquitectura de períodos”, asentada sobre una extensa superficie a modo de parque, donde su principal actividad está ligada a la vida académica, social y cultural.

El trabajo se estructura en tres grandes etapas diferenciadas: (1) Preparación del relevamiento sonoro, luego de la selección de puntos a relevar, mediante la aplicación Google Maps se diseña el recorrido a realizar (Soundwalk). Se definen escenario/sectores de análisis a manera de estaciones; (2) Relevamiento visual y sonoro de las escenas y modelado digital 3D y (3) modelado y renderización de escenarios audiovisuales propuestos, con incorporación de nuevos sonidos derivados de la intervención.

La técnica del recorrido sonoro o soundwalk es una técnica de exploración y análisis del paisaje sonoro que consiste en realizar una caminata sonora por un determinado lugar, prestando atención a los sonidos que lo caracterizan y a las sensaciones que producen. El soundwalk puede tener diferentes objetivos, como la sensibilización, la educación, la investigación o la creación artística.

El potencial de aplicación de la técnica de la caminata sonora es amplio y variado, ya que permite conocer y valorar la diversidad y riqueza de los paisajes sonoros, así como identificar y denunciar los problemas de contaminación acústica que los afectan. El soundwalk también puede ser una herramienta para fomentar la participación ciudadana en el diseño y gestión de los espacios públicos, así como para estimular la creatividad y la expresión de los oyentes a través de diferentes medios, como la grabación, el montaje, la composición o la instalación sonora.

Etapas. Del relevamiento sensible a la simulación

Primera etapa: Preparación del itinerario, selección del proyecto y área de estudio.

En conjunto con la cátedra de Arquitectura Paisajista B, de la carrera de arquitectura en la FAUD, se seleccionó un trabajo correspondiente al año 2021, el cual se caracteriza no solo por su diseño sino también por las modificaciones que podía presentar en relación al paisaje sonoro debido a sus intervenciones en el sitio de estudio. Se tomó la elección de 8 puntos en función de los siguientes criterios: idénticas condiciones de entorno y diferentes configuraciones espaciales y programáticas en su interior. Con el objetivo de lograr un área de estudio que permita, por comparación entre diferentes escenarios con similares condiciones, tomar conclusiones con relación a la calidad y características del paisaje sonoro. Para tomar como referencia geográfica la posición del punto relevado N°1 se encuentra a una latitud de -31.433556979913295 y una longitud de -64.18740488589367 (figuras 2 y 3).



Figura 2. Puntos del recorrido sonoro. **Fuente:** Elaboración propia

En base al estudio de usos y actividades presentes en el sector determinado, se evidencia que la principal fuente de ruido es el tráfico vehicular. Es necesario a la hora de determinar los puntos a relevar conocer la ubicación de las vías principales y secundarias de tránsito de la ciudad, de este modo se pueden reconocer los sectores de mayor circulación. Es de importancia considerar también los sectores que rodean el parque, para estudiar el impacto que estos espacios verdes generan en el entorno.



Figura 3. Imágenes de los 8 puntos del recorrido sonoro. **Fuente:** Elaboración propia

Segunda etapa: Relevamiento visual – sonoro y confección del modelo 3d realista.

En esta etapa se procede a realizar un relevamiento visual – sonoro de los puntos seleccionados. El relevamiento visual se realizó a través de una cámara 360°, la cual permite la toma de fotografía y video de carácter inmersivo,

grabando todo el entorno permitiendo orbitar el ángulo de visión en 360 grados de forma esférica. La misma realiza fotos y videos a través de dos lentes gran angular colocados uno detrás de otro, tomando por un lado la parte frontal y la otra la trasera, al ser de gran angular permiten grabar además tanto el suelo como el cielo. En este caso se optó por un modelo Ricoh Theta Sc2, el uso de esta cámara permite la captura de videos y fotografías que pueden ser reproducidas con medios de realidad aumentada. En el caso del relevamiento sonoro, se relevó a través de una grabadora modelo Zoom H4n, es un dispositivo de grabación digital fabricado por Zoom que posee dos micrófonos de condensador integrados dispuestos en posición estéreo X / Y. (figura 4)



Figura 4. Cámara 360° y grabador estereo.

Las grabaciones se realizaron sobre un trípode, colocando los artefactos a la altura del observador (1,70m), para generar una sensación de inmersión mayor a la hora de reproducir el contenido. Se procedió a realizar grabaciones de 45 segundos y luego procesadas en el software audiovisual Adobe Premiere Pro, permitiendo la compaginación de ambos archivos y luego su procesado para poder ser reproducidos como videos de realidad aumentada (figura 5). Posteriormente se realizó un modelo 3D de forma detallada de cada sector analizado. Para la construcción del modelo se realizaron diversas visitas al sitio, registro fotográfico, toma de medidas y el uso de un antecedente en formato CAD, el modelo se efectuó a través del software Sketchup pro 2021.

Como se mencionó anteriormente, para el desarrollo de esta investigación se utilizaron los softwares de Adobe Premiere y Sketchup los cuales cuentan con descuentos para licencias estudiantiles y de investigación, por otro lado el software de dibujo Autocad cuenta con licencia gratuita para estudiantes y profesores y por último el software de renderizado y realidad virtual Twinmotion cuenta con licencia gratuita y de libre uso.



Figura 5. Imágenes relevamiento visual y sonoro.

Fuente: Elaboración propia

Tercera etapa: Modelizado propuesta, creación de banco sonoro y modificación de audio.

En esta etapa se incorpora un modelo de intervención propuesto dentro del contexto modelado, para este estudio se utilizó un proyecto final de la materia Arquitectura Paisajista B (año lectivo 2021) con sus respectivas modificaciones en el terreno (figuras 6 y 7). En esta etapa el uso de softwares de renderizado como es el caso de

Twinmotion que incorporan la herramienta de visualización en tiempo real en realidad aumentada ayuda a verificar y experimentar aquellas variables utilizadas para modificar tanto espacialmente como sonoramente el entorno e ir actualizando el modelo a la par que se modifica.

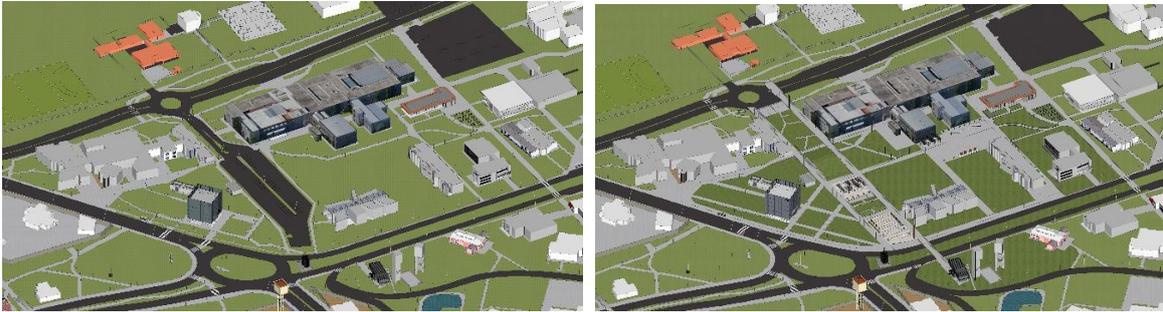


Figura 6. (a) Modelo 3D Ciudad Universitaria. (b) Intervención Parque del saber. **Fuente:** Albarenga-Alberto-Berna- Arquitectura del paisaje 2020.



Figura 7. Escena 4. (a) Render 360° de Ciudad Universitaria sin intervención. (b) Render 360° del Parque del saber. **Fuente:** Elaboración propia.

En esta última etapa se comenzó con la creación de un banco sonoro, herramienta fundamental a la hora de editar el audio original, de esta forma se obtuvieron distintos sonidos precedentes de relevamientos sonoros entre los que encontramos sonido de distintos tipos de fuentes de agua, sonido del viento, murmullo de personas, pisadas, automóviles entre otros. Una vez finalizada la etapa de modelado 3d tanto del contexto actual como de la intervención se procede a realizar un total de ocho renders en 360° procedentes de cada punto relevado en ambas situaciones. Para emular el relevamiento a través de realidad virtual se compagina el audio de cada punto revelado con la imagen 360° procedente del modelo 3d del contexto original.

Para comprobar las modificaciones sonoras del espacio, producto de la intervención, se utiliza el banco sonoro confeccionado anteriormente añadiendo nuevas capas de sonidos y modificando la intensidad y duración dependiendo de la fuente que los produce. En este paso se utilizó el software mencionado (Adobe Premiere Pro) el cual brinda un amplio repertorio de herramientas de edición de audio y vídeo, permitiendo superponer y modificar niveles de intensidad, transición y compaginación de sonidos, para luego exportar estos archivos en formato 360° o realidad aumentada y poder ser reproducidos en realidad virtual.

Resultados

La metodología propuesta anteriormente fue aplicada a los ocho sectores o escenas sonoras determinadas para el caso de estudio, realizando un relevamiento visual-sonoro, a través de una cámara 360° y un grabador estéreo, permitiendo luego la compaginación de ambos archivos y luego su procesado para poder ser reproducidos como videos de realidad aumentada. En la figura 8 se sintetizan las etapas con las variables e interrelaciones que se producen. Las intervenciones sobre el modelo 3D realista permiten comprobar subjetivamente las diferencias o

similitudes de los resultados obtenidos al modificar ciertos parámetros dentro del modelo 3D, como ser vegetación, programa, circulación peatonal, eliminación y adición de los espacios verdes, mobiliario, etc.

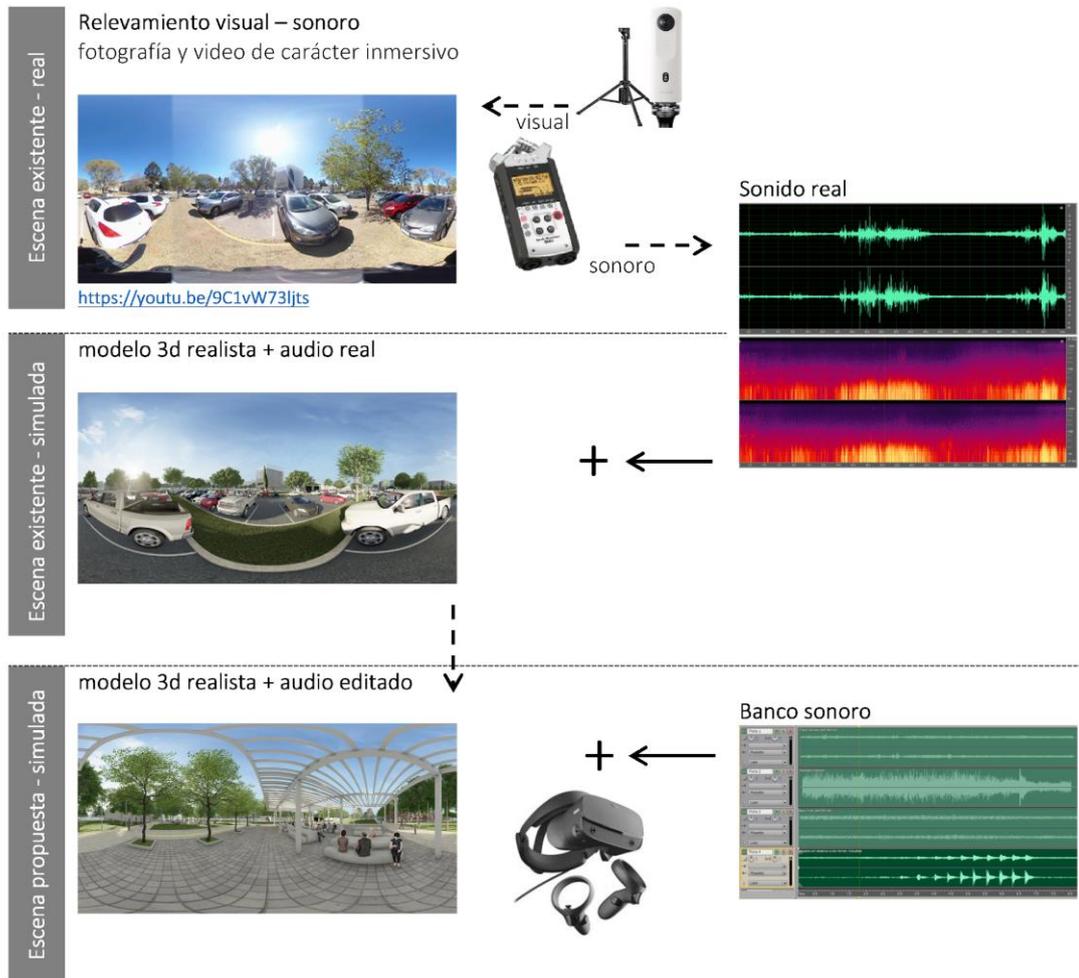


Figura 8. Etapas aplicadas al punto 4 del recorrido sonoro. **Fuente:** Elaboración propia.

El dispositivo utilizado para reproducir el material generado, tanto en el relevamiento como en el software, fue un casco de realidad virtual, modelo Oculus Rift version Quest 2, que incluye una conexión de auricular para poder tener una mayor sensación de inmersión junto con el casco. No obstante, estos videos tanto de relevamiento como de las imágenes fotorrealistas con el audio original y modificado, pueden ser reproducidas en la plataforma Youtube sin la necesidad de utilizar un casco de realidad virtual, sólo a través del mouse se puede orbitar el ángulo de observador.

Mediante el uso de tecnologías de relevamiento, modelado y edición de audio es posible la creación y recreación de paisajes sonoros de manera virtual donde se busca conectar el medio físico con la percepción sensorial y emocional del usuario integrando las áreas técnicas y proyectuales buscando incrementar la creatividad mediante la interacción directa entre el usuario y el proyecto de forma lúdica y dinámica.

El principal resultado del trabajo ha sido la puesta en marcha de una técnica de análisis y evaluación del impacto en el paisaje sonoro de los elementos de diseño a través del uso de realidad virtual, por medio de la cual se puede analizar sonoramente una propuesta de intervención, relevando la realidad para ser reproducida de forma inmersiva sin la necesidad de estar físicamente en el lugar, emular la realidad mediante un modelo fidedigno en 3D y emular y experimentar la intervención del entorno tanto en su componente espacial como visual/sonoro.

Conclusiones

En correspondencia con el objetivo general del plan de trabajo del proyecto de investigación se logró indagar, profundizar y generar una técnica de estudio de carácter subjetivo de los factores que pueden modificar un paisaje sonoro. El análisis del caso de estudio demuestra la importancia y complejidad que tiene la caracterización de los paisajes sonoros urbanos, habiendo distintas técnicas y metodologías, siempre poniendo énfasis en la relación de los distintos factores de diseño de un espacio como también del contexto que lo rodea, formando parte un mismo sistema en el cual todas las partes están relacionadas entre sí.

La evaluación del paisaje sonoro mediante realidad virtual es una forma de estudiar el ambiente sonoro de distintos lugares, utilizando un visor con audífonos que ofrece una visión y una audición en 360° grados del paisaje. Esta técnica permite conectar el medio físico con la percepción sensorial y emocional, integrando las áreas científicas y musicales y fomentando la creatividad y la adquisición de competencias clave.

El manejo de las nuevas herramientas tecnológicas permite no solo la recreación de un entorno real y la simulación de determinados paisajes sonoros, si no que a su vez puede ser aplicada tanto en relevamiento de ciertas áreas de estudio como también para su modificación y puesta a prueba en diferentes situaciones. Se pudo verificar la capacidad de modificación del paisaje sonoro en los espacios urbanos y el potencial de la herramienta de realidad virtual para ser aplicada en distintos procesos de diseño de espacios urbanos. La tecnología actual permite crear una metodología de trabajo que sumerge a los diseñadores y las partes interesadas de la comunidad para percibir y comparar cambios en la calidad del sonido y brindar retroalimentación sobre diferentes diseños de paisajes sonoros.

La definición programática (actividades y usos) para espacios vacantes o sin enunciación del mismo, tienen su impacto en los paisajes sonoros y la caracterización del espacio que se habita. Por ejemplo, la incorporación de elementos icónicos en pequeñas explanadas/plazas: implica, desde el punto de vista paisajístico, determinar el alcance escalar de la intervención y sus relaciones con el resto del proyecto, con impacto directo en el paisaje sonoro del lugar. El diseño del paisaje sonoro es importante en la gestión y planificación urbana porque afecta fuertemente la utilidad de un lugar, como un parque público, un jardín, un centro cultural, etc. El paisaje sonoro, en ese sentido, es la percepción sonora del lugar. Definir una Idea/Concepto para la intervención en función del reconocimiento del sector de estudio, estableciendo una formalización de la idea conceptual contemplando todas las variables de diseño y su impacto en el usuario para poder generar un espacio de mayor confort y calidad.

La percepción del paisaje sonoro a través de la realidad virtual fomenta la participación e implicación del diseñador y hasta del usuario, promoviendo la implementación de estrategias de diseño innovadoras, colaborativas e inmersivas, facilitando la conexión entre la realidad física y virtual mediante la creación y recreación de paisajes virtuales que favorecen la percepción sensorial y emocional. La oportunidad de diseñar en conjunto con la virtualización del paisaje sonoro facilita la atención, observación y la comprensión del medio generando una oportunidad para el aprendizaje profundo del entorno, basado en la reflexión y la construcción colaborativa del conocimiento.

La investigación realizada deja en evidencia la complejidad de la evaluación del paisaje sonoro de un espacio, y que debe ser abordada teniendo en cuenta la interacción de distintos factores tanto de diseño como del contexto.

Diversos estudios indican que los sonidos de origen natural y circunstancialmente los producidos por la actividad humana, son aquellos con un mayor grado de aceptación en comparación con aquellos de origen tecnológico. Estos últimos son menos reconocidos como identificadores de un paisaje sonoro denominado hi-fi, donde la calidad acústica depende primordialmente de la claridad y nitidez con que son percibidos los sonidos que dotan de identidad y calidad al espacio.

El desarrollo de relevamientos y su simulación en realidad virtual, permitiría a futuro el desarrollo de criterios específicos para un diseño integral y una planificación adecuada de las áreas urbanas, incorporando los conceptos de paisaje sonoro, ayudando a definir una Idea/ concepto para la intervención en función del reconocimiento del

sector de estudio y establecer de este modo una formalización y materialización de la idea conceptual y sus respectivas implicaciones para el usuario. El uso de la realidad virtual/aumentada permite desarrollar una técnica de trabajo que sumerge a los diseñadores en diversas situaciones de estudio e intervención que ayudan a comparar cambios en la calidad del sonido y brindar de este modo una retroalimentación sensorial y experimental.

La incorporación de las nuevas tecnologías enfocadas en la simulación de la realidad son una gran herramienta a la hora de realizar relevamientos y simulaciones de determinadas situaciones bajo diversas características, permitiendo a futuro el desarrollo de diversos criterios tanto generales como específicos para la creación y diseño de un plan integral y holístico, incorporando nuevos conceptos del paisaje sonoro. A través de la confección y recreación de determinados entornos y sus respectivos paisajes virtuales se logra conectar tanto el medio físico con la variable sensorial, fomentando la creatividad y el diseño lúdico interactivo, invitando de esta manera a la construcción colectiva e interdisciplinaria del conocimiento y los espacios que habitamos en la cotidianidad, fomentando valores y actividades a través de experiencias en entornos reales y virtuales, permitiendo a los diseñadores y a la comunidad percibir y comparar las modificaciones en los paisajes sonoros brindando una retroalimentación constante basada en la experiencia y vivencia del espacio a través de las nuevas tecnologías.

En un entorno de constante desarrollo y evolución es primordial la incorporación de metodologías de trabajo interdisciplinarias, permitiendo un estudio más detallado y profundo, incorporando diversos componentes de diseño que ayuden no solo a mitigar ruidos molestos sino también identificar aquellos factores que aporten a la calidad de vida de los espacios abiertos exteriores.

A la hora de realizar un análisis y estudio de aquellos factores que intervienen en el diseño de los paisajes sonoros es necesario determinar un conjunto de espacios urbanos abiertos que comparten determinadas características, pero se diferencian en su uso y en su producción sonora del paisaje. Esta técnica caracterizada por su subjetividad debido a que está ligada a la percepción del usuario busca vincular la calidad acústica con diversos aspectos y componentes que siempre están presentes en la ciudad; presencia de automóviles, fuentes de agua, vegetación, actividades y programas determinados, materialidades, fauna característica del lugar, entre otros. Para analizar en profundidad el paisaje sonoro de un determinado ámbito urbano es necesario realizar una discriminación y clasificación de las fuentes sonoras presentes y que inciden de manera tanto negativa como positiva el sitio de estudio. Estas fuentes se analizan no solo desde el punto de vista físico, mediante indicadores acústicos, sino también mediante su componente semántico.

Sin embargo, se puede continuar estudiando y analizando diversas variables para seguir mejorando y modificando las simulaciones y que éstas concuerden aún más con la realidad reflejada por el relevamiento. El trabajo realizado es, de hecho, una primera etapa en esa dirección. Entre otros aspectos es necesario fortalecer y aumentar con grabaciones las bases de datos sonoros para que sean realmente representativos de todas las situaciones posibles. En estas grabaciones y su procesamiento posterior será necesario considerar los niveles y características del ruido ambiental que son diferentes en las áreas urbanas, suburbanas y rurales. Es imprescindible grabar y reproducir los sonidos ambientales propios de cada sociedad y relacionados con componentes paisajísticos particulares virtuales que mejoren la representatividad de las escenas sonoras simuladas.

Con el uso de la realidad virtual los arquitectos, diseñadores y planificadores pueden correlacionar los cambios en la configuración física del entorno con el escenario sonoro resultante. La técnica también permite identificar la calidad sonora del espacio, identificando los problemas de ruido que pueden evitarse durante la etapa de diseño. La metodología ensayada en este trabajo es también útil para el desarrollo de técnicas de evaluación de paisajes sonoros urbanos en entornos de laboratorio y/o de taller. Además, pueden ayudar a los estudios de planificación al promover la comprensión de la incidencia del sonido y la interacción audiovisual en los contextos urbanos.

Bibliografía

- Botella Nicolás, A. M., Hurtado Soler, A. y Ramos Ahijado, S. (2018). Innovación educativa a través de la realidad virtual y el paisaje sonoro. *Creativity and Educational Review*, (2), 113-127. <https://doi.org/10.7203/CREATIVITY.1.13628>
- Cárdenas-Soler, R. N. Martínez-Chaparro, D. (2015). El paisaje sonoro, una aproximación teórica desde la semiótica. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 5(2), 129-140. <https://doi.org/10.19053/20278306.3717>
- Chung, A., To, W. M. & Schulte-Fortkamp, B. (2016). Next generation soundscape design using virtual reality technologies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4), 3041-3041. <https://doi.org/10.1121/2.0000416>
- German-González, M. y Santillán, A. O. (2006). Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 10(1), 39-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74831071004>
- Jo, Hyun In & Jeon, Jin Yong. (2022). Perception of urban soundscape and landscape using different visual environment reproduction methods in virtual reality. *Applied Acoustics*, (186), <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108498>.
- López, J. G. (2007). *Soundwalking. Del paseo sonoro "in-situ" a la escucha aumentada. Paseantes, viajeros e paisajes*, Xoan Xil. <http://www.unruidosecreto.net/textos/texto-soundwalking>
- Maristany, A., Baigorri, G. y Coll, M. (2020). *Ambiente, tecnología, diseño sustentable: las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética*. (1a ed comp.) Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Maristany, A. R., & Recuero, L. M. (2010, 27 de agosto). *Influence of the semantic content of urban sounds in the identity of outer spaces*. 20th International Congress on Acoustics, Sidney, Australia, 952-957.
- Maristany, A. R., Recuero L. M. y Asensio Rivera, C. (2015, 17 de octubre). *Caracterización del paisaje sonoro en los espacios urbanos abiertos*. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, Campinas, Brasil.
- Maristany, A. R. (2016). Paisaje sonoro urbano "Soundwalk" como método de análisis integral. *Pensum*, 2(2), 41-56
- Maristany, A. R., & Recuero L. M. (2010, 16 de junio). *Relationship between objective and subjective indicators in urban soundscape analysis. The case of Cordoba, Argentina*. 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Lisboa, Portugal, 564-572.
- To W. M., Chung A. & Schulte-Fortkamp B. (2016) Next generation soundscape design using virtual reality technologies. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, (29), <https://doi.org/10.1121/2.0000416>
- Schafer R. M. (1977). *The tuning of the world*. Random House.
- Van Renterghem, T., Sun, K., Filipan, K., Vanhecke, K., De Pessemier, T., De Coensel, B., & Botteldooren, D. (2019, 13 de septiembre). *Interactive soundscape augmentation of an urban park in a real and virtual setting*. 23rd International Congress on Acoustics, Aachen, Alemania, -899-903
- Van Renterghem, T., Vanhecke, K., Filipan, K., Sun, K., De Pessemier, T., De Coensel, B., Joseph W. & Botteldooren, D. (2020). Interactive soundscape augmentation by natural sounds in a noise polluted urban park, *Landscape and Urban Planning*, (194). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103705>.
- Venot, F., & Sémidor, C. (2006, 8 de septiembre). *The soundwalk as an operational component for urban design*. 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Suiza.

Yelicich, B., Abadia, L., & Maristany, A. R. (2020). *Contaminación acústica – Mapa de Ruido de la Ciudad de Córdoba*. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas.