



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

AURALIZACIÓN EN ENTORNOS URBANOS: CASO DE ESTUDIO PLAZA DE JACINTO BENAVENTE

PACS: 43.50.Rq

Gonzalo Galán, Janet; De la Prida Caballero, Daniel; Pedrero González, Antonio; Díaz Sanchidrián, César
Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid
Avda. Juan de Herrera 4
28040 Madrid (España)
Tel. 91 336 42 49
E-mail: arquilav.arquitectura@upm.es

Palabras Clave: auralization, urban sound planning, soundscape design, sound perception, urban open public spaces, environmental sound quality

ABSTRACT

The application of auralization techniques is consolidated for the acoustical study and characterization in room acoustics. In combination with virtual reality systems, it turns to be a powerful project tool for analysing possible solutions and also for communicating.

The main objective of the project is the application of this methodology into urban spaces, considering the human's perception point of view. For this purpose, and in order to reach the considered objectives, a conflictive and complex urban environment is selected and virtually modelated, testing this technique for the analysis of different urban and architectural solutions.

RESUMEN

La aplicación de las técnicas de auralización está consolidada para el estudio y caracterización de la acústica de recintos y en combinación con la realidad virtual se configura como una potente herramienta de proyecto, análisis de posibles soluciones y comunicación.

El objetivo fundamental de este trabajo es la aplicación de esta metodología a escala urbana, realizando la elección de un entorno urbano conflictivo y complejo, modelarlo virtualmente y experimentar esta técnica para la evaluación de posibles soluciones urbanísticas y arquitectónicas que permitan alcanzar objetivos propuestos, enfocando el estudio al punto de vista de la percepción del hombre.

1 INTRODUCCIÓN

El diseño de espacio urbano precisa un enfoque multidisciplinar que sea capaz de integrar el esfuerzo y conocimiento de numerosos campos de la comunidad científica. Las ciudades son producto de interacciones complejas y es necesario el trabajo conjunto para hacer que estas cuenten con espacios habitables, tanto en el ámbito privado como en el espacio público.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

En muchos casos, las magnitudes físicas tradicionales de medida del ruido urbano no se correlacionan con las evaluaciones de molestia o agrado, habiéndose realizado en los últimos años numerosas investigaciones que relacionan medidas objetivas con descriptores subjetivos (Aletta, Kang, & Axelsson, 2016).

El enfoque del estudio del *soundscape* o paisaje sonoro, nos proporciona herramientas apropiadas sobre esta perspectiva, ya que requiere una definición de objetivos de calidad acústica completamente diferentes (Brown & Muhar, 2004). Estos están basados en la percepción del receptor y se caracterizan a partir de su carácter positivo o molesto, definiendo aquellos que deben ser los dominantes, los que deben ser amplificados o atenuados y los que deseablemente deben ser enmascarados.

La importancia de la interacción entre la percepción acústica y visual junto con el desarrollo de la capacidad de procesamiento de los equipos informáticos, permite integrar herramientas como la auralización y la visualización para realizar simulaciones desde un punto de vista global (Echevarria, Van Renterghem, Sun, De Coensel, & Botteldooren, 2017). Con la aplicación en escenas urbanas, pueden incorporarse como un instrumento de planificación urbanística en escalas cercanas permitiendo integrarse en procesos de evaluación subjetiva con ventajas importantes como la participación ciudadana (Jiang, Masullo, Maffei, Meng, & Vorländer, 2017), la sensibilización al problema del ruido y la cuantificación coste-beneficio para las administraciones.

El planteamiento del trabajo parte del análisis de la Plaza de Jacinto Benavente, estableciendo objetivos de confort acústico que se plantean alcanzar a partir de estrategias de diseño basadas en una combinación entre medidas tradicionales de control de ruido y la incorporación de criterios con el enfoque del paisaje sonoro. Se experimentan las posibilidades de escucha a través de auralizaciones del estado original y mediante comparación en términos diferenciales con la situación de proyecto. Esta herramienta permite retroalimentar el diseño, realizar evaluaciones subjetivas y objetivas, así como facilitar la comunicación de las propuestas a los diferentes agentes implicados en la toma de decisiones.

2 LA PLAZA DE JACINTO BENAVENTE

La plaza de Jacinto Benavente está situada en el distrito Centro, la zona de Madrid que se configura como el núcleo comercial, turístico y de ocio más frecuentado de la ciudad. Cuenta con una configuración urbana de casco histórico siendo su función principal de acceso al centro. En la plaza y sus proximidades tienen además su entrada y salida 5 rampas de vehículos, tanto de entrada hacia aparcamientos como de paso subterráneo. La convivencia del tráfico rodado y los peatones produce interacciones que provocan problemas de seguridad vial, así como la proliferación de eventos sonoros negativos relacionados con los problemas circulatorios, tales como frenazos o pitidos.

Durante los últimos años se han peatonalizado numerosas calles del distrito, así como restringido la circulación de vehículos de residentes y reparto de mercancías. La parte sur de la plaza es la que tiene mayor concentración de tráfico rodado en superficie, puesto es atravesada longitudinalmente por la Calle Atocha, existiendo una elevada presencia de vehículos pesados por la localización en el margen de la calle Atocha de un intercambiador de autobuses urbanos de dos vías, con capacidad para 4 autobuses parados.

Se plantean dificultades en el caso de estudio elegido tales como el tamaño de la plaza, la complejidad geométrica, la heterogeneidad de las fachadas en cuanto a materiales y elementos decorativos, así como el elevado número de fuentes sonoras, la mayoría de ellas no estacionarias que son cambiantes cualitativa y cuantitativamente. Pese a ello, se detectan

numerosas oportunidades, como la interacción de usos, la inclusión de la plaza en proyectos municipales que pueden ser modelados, las posibilidades de implementación de medidas de control de ruido y la extrapolación de los resultados del trabajo a configuraciones urbanas similares.

Debido a la variabilidad de las fuentes sonoras a lo largo del día, se realiza un primer análisis sobre el que se decide que el escenario a modelar será representativo de un día laborable en la franja horaria 17-19 horas. En esa situación hay una elevada intensidad de circulación de personas, con tiempos largos de estancia, como indicativo de que se trata de una franja horaria en la que la plaza tiene máximo nivel de uso, simultánea a una intensa circulación de vehículos lo que produce niveles elevados de ruido de tráfico.

2.1 Análisis de las fuentes sonoras

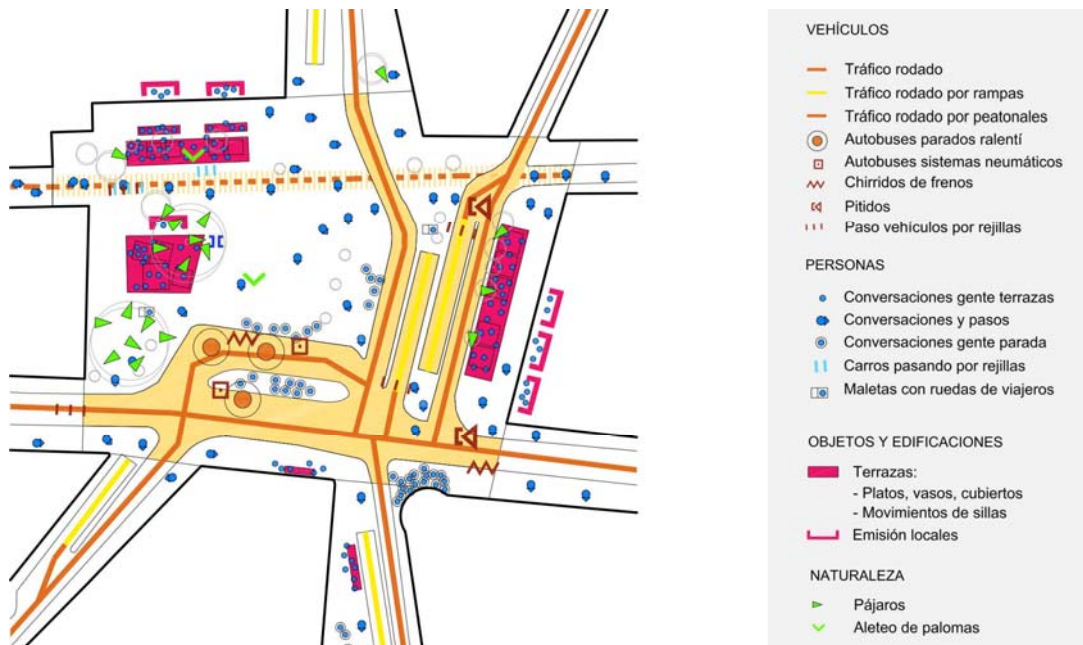


Figura 1 Análisis de las fuentes sonoras de la plaza existentes en el escenario elegido

2.2 Definición de objetivos y estrategias de diseño

A partir del análisis realizamos una definición de objetivos acústicos que requiere la redistribución e incorporación de nuevos usos. Se proponen soluciones de reducción de niveles de presión sonora aplicando estrategias de diseño que permitan atenuar los niveles de emisión y limitar la propagación, tanto a través de la instalación de apantallamientos como incrementando la absorción de algunas superficies.

Esta reducción hace viable considerar la opción de mejorar la calidad sonora del espacio de la plaza desde el enfoque del paisaje sonoro, lo que se aborda incorporando sonidos percibidos como positivos, como niños, músicos, mayor presencia de pájaros y sonido de agua. Se busca también el enmascaramiento del ruido de tráfico instalando una fuente de agua de grandes dimensiones en la zona central.



Figura 2 Estrategias de diseño para la mejora del ambiente acústico

3 MODELO

En primer lugar, se ha elaborado el modelo 3D del espacio objeto de estudio. Se han extraído los datos geométricos en planta de la base de datos GIS del Ayuntamiento de Madrid, a partir de los cuales se ha realizado un levantamiento a partir de las alturas de los edificios y realizando ajustes mediante técnicas de fotogrametría. Para el trabajo de simulación acústica se emplea el software Odeon. Con el fin de simular un recinto cerrado para optimizar los cálculos, se dibuja una caja envolvente alrededor 100% absorbente en todas las frecuencias.

Se ha realizado un estudio detallado de cada una de las fachadas del entorno de la plaza de Jacinto Benavente para tomar decisiones sobre el nivel de detalle del modelo, lo que tiene que ver con la longitud de onda correspondiente a las frecuencias de nuestro interés. Una vez importado el modelo en Odeón se han asignado los distintos materiales con diferentes coeficientes de absorción y scattering establecidos a partir de consideraciones geométricas de las distintas superficies y referencias bibliográficas, teniendo en cuenta los materiales y composición de cada fachada.

3.3 Validación del modelo

El objetivo de esta fase es validar de una forma sencilla el ajuste entre el modelo y la situación real, para lo que se hacen medidas in situ de respuesta al impulso comprobando la aproximación entre los datos medidos y simulados para en caso localizar el origen de la obtención de datos discordantes se pueda localizar el origen del problema y realizar los ajustes necesarios.

Como fuente de impulsos se utilizan claquetas lo que presenta limitaciones ya que únicamente obtenemos datos válidos en frecuencias altas. Sin embargo, obtenemos niveles suficientes de excitación de una forma sencilla evitando la necesidad de solicitar permisos municipales. Se emplea como parámetro el tiempo de reverberación T20 y como criterio el JND, empleado en acústica de salas, obteniendo que pese a que tienen valores de JND elevados algunas posiciones, el modelo tiene en general un comportamiento similar en frecuencia.

Puesto que las medidas realizadas in situ no tienen la precisión suficiente como para considerarlas el objetivo del ajuste del modelo, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, no se puede considerar una calibración tal como se efectúa en otro tipo de

simulaciones, no considerándose necesaria en nuestro caso ya que los objetivos de trabajo son en términos diferenciales.

3.4 Caracterización de las fuentes sonoras

Tráfico rodado y autobuses al ralentí

Se realiza la modelización a partir de grabaciones urbanas de ruido de tráfico, para experimentar su posible validez y el empleo de configuraciones sobre el modelo a partir de fuentes puntuales con una configuración estereofónica para simulación del movimiento. Utilizamos grabaciones multicanal in situ utilizando como referencia un sistema empleado en acústica de salas para caracterizar orquestas (Theile, 2001). Puesto que no es posible obtener grabaciones en el entorno de la Calle Atocha aislando el ruido del tráfico, se decide buscar otro emplazamiento con características similares, eligiendo para ello la Calle Cea Bermúdez en Madrid.

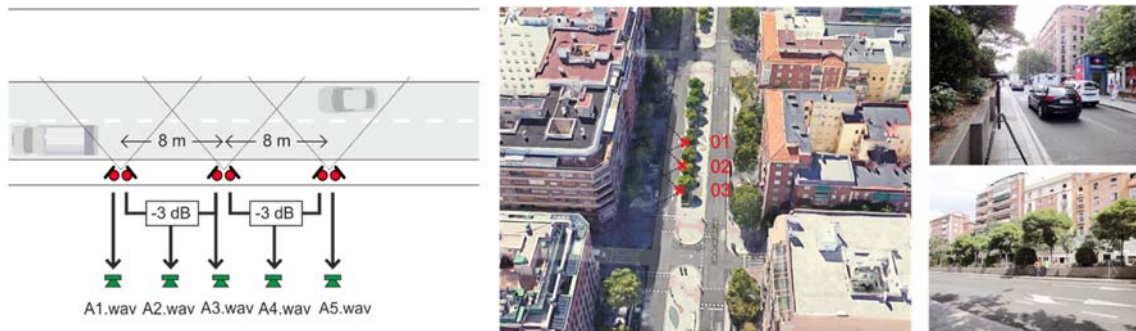


Figura 3 Esquema de situación de las grabadoras en la calle Cea Bermúdez, Madrid. Adaptado de (Theile, 2001)

Para recoger el ruido generado por los autobuses en las paradas, se graba en la plaza de Jacinto Benavente en una posición cercana al autobús de aproximadamente 1 m, evitando la influencia de las reflexiones del entorno.

Personas y objetos

Se graban en condiciones de campo libre las señales que se consideran adecuadas para recrear en cámara anecoica, como es el caso de sonidos humanos tales como la voz de conversaciones y golpeteo del menaje de hostelería. Se realizan grabaciones de conversaciones entre 2 personas, un grupo de 4 personas y un grupo de 9 personas, incluyendo la presencia de niños obteniendo diferentes tipos de audios con niveles y superposiciones vocales diferentes en función de la cantidad de participantes.



Figura 4 Grabaciones anecoicas de conversaciones de personas

Eventos sonoros y música

Utilizamos grabaciones de sonido de canto de pájaros, pitidos de tráfico, tos, pasos, etc. buscando similitudes a los existentes en la plaza para lo que se emplean archivos .wav descargados de la web freesound.org. Estos recursos se emplean también para encontrar grabaciones de los eventos sonoros positivos que se van a incorporar al ambiente sonoro en la fase de propuesta de soluciones. Utilizamos también la base de datos Anechoic Recordings desarrollada por la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia (Woirgard, Stade, Amankwor, Bernschütz & Arend, 2012) como fuente sonora que corresponderá a un músico tocando la guitarra en una zona de la plaza.

3.5 Ajuste de los niveles

Puesto que se obtienen grabaciones independientes de diferentes ubicaciones y de bases de datos y que la simulación corresponde a una escena sonora *representativa* pero *no real* de la plaza, no es posible ajustar los niveles en términos absolutos. Debido a que el trabajo pretende comparar escenas del estado actual con modificaciones incorporadas en el proyecto, se considera suficiente la realización del ajuste relativo entre las fuentes sonoras.

Se realiza en la cámara anecoica un ajuste previo de los niveles de las diferentes grabadoras necesarios para que las señales obtenidas tengan el mismo nivel. Las señales del tráfico grabadas in situ son las empleadas como referencia. A partir de estas, mediante comparaciones con las grabaciones biaurales realizadas en los mismos puntos en los que se sitúan los receptores de la auralización, se establecen los niveles adecuados para el resto de los eventos sonoros que se producen, introduciendo en el modelo cada uno de ellos de forma independiente superpuesto al ruido del tráfico y ajustando los niveles mediante escuchas.

4 AURALIZACIONES

Se realizan las auralizaciones correspondientes a la escena sonora representativa del estado actual (a) en los 3 puntos definidos. Después de los ajustes y una vez obtenidos los archivos de audio que representan con verosimilitud el ambiente de la plaza, se utiliza el modelo incorporando las medidas de mejora del proyecto de mejora del ambiente acústico para obtener nuevas auralizaciones (b) que nos permitan comparar el cambio perceptivo que se ha producido, así como explorar las posibilidades acerca de la incorporación de sonidos positivos (c).

4.6 Análisis de las auralizaciones

Una posibilidad importante de las auralizaciones en este tipo de entornos es que obtenemos un audio que permite opciones de evaluación perceptiva a partir de la escucha, así como un análisis pormenorizado de cualquier parámetro acústico deseado, siempre que el ajuste de los niveles sea adecuado.

Espectrogramas

Realizamos un análisis de los espectrogramas en el punto central de la plaza comparando las variaciones en los 3 escenarios propuestos, mediante el software Sonic Visualizer. El espectrograma es una representación que combina la evolución temporal con el contenido espectral en un único gráfico, lo que nos permite en nuestro caso, visualizar los rasgos característicos de las escenas sonoras comparadas.

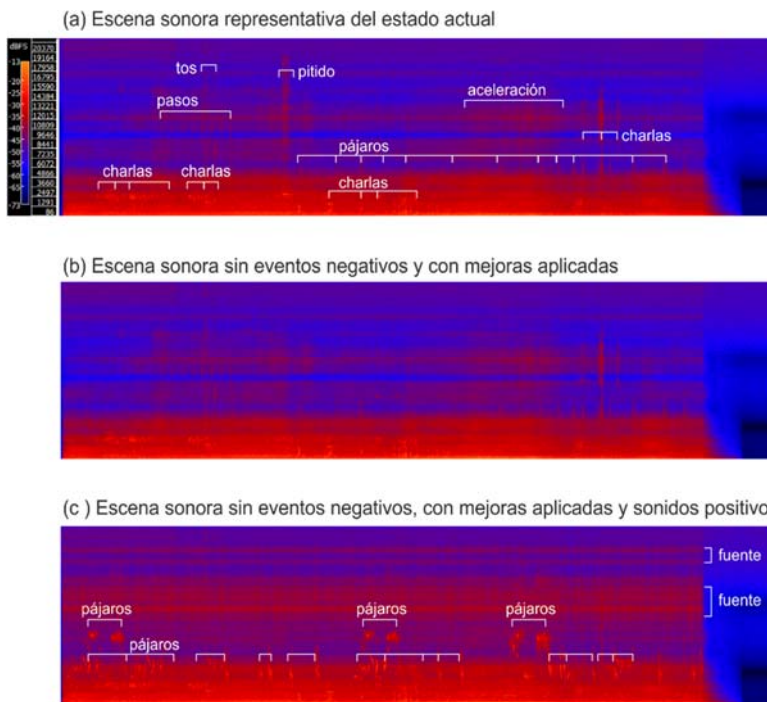


Figura 5 Espectrogramas en el punto central de la plaza en los diferentes escenarios propuestos

Podemos ver en (b) como se ha eliminado el pitido que existe en la escena original.

En la escena (c) se aprecia la presencia de las fuentes de agua que provocan un cierto enmascaramiento del ruido de tráfico, eliminando las percepciones de las aceleraciones.

Se enriquece también el espectro sonoro con la presencia de un mayor número de pájaros producto de que existan nuevas zonas de arbolado que a la vez son más cercanas en este punto de análisis y por tanto su presencia más destacada sobre el ruido de fondo.

Nivel de sonoridad

Puesto que las señales que evaluamos en este trabajo no son estacionarias, analizamos la sonoridad mediante un modelo de cálculo de loudness para sonidos variables en el tiempo (Zwicker & Fastl, 1999) utilizando niveles percentiles indicadores del valor excedido durante un porcentaje de tiempo dependiendo para evaluar valores globales. Para evaluar cuantitativamente las diferencias de sonoridad y nivel de sonoridad antes y después de la aplicación de mejoras se utilizan los valores globales de los que se eligen los percentiles 10 ya que son los mejor correlacionados con la percepción de ambientes urbanos (Raimbault, Lavandier, & Bérengier, 2003). Pese a que los niveles no están ajustados en términos absolutos, debido a que se realizan comparativas diferenciales, podemos obtener datos relevantes.

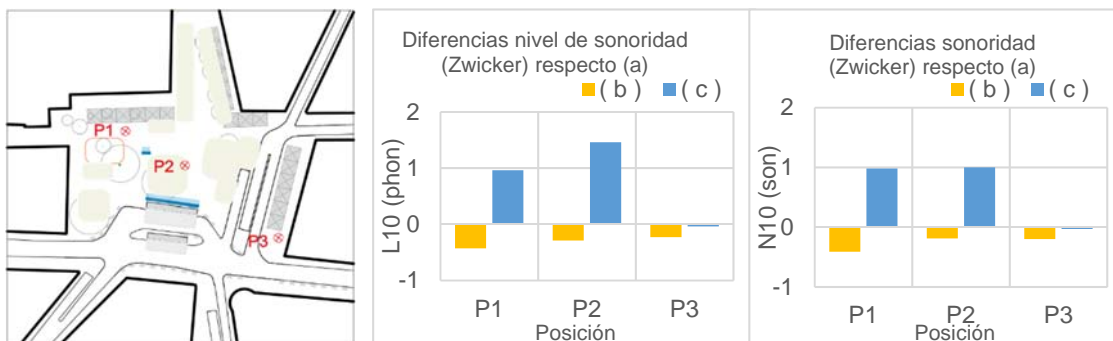


Figura 6 Diferencias de variación de sonoridad según las posiciones y escenarios comparados

En las gráficas anteriores comparamos las diferencias en los valores globales del nivel de sonoridad y sonoridad percentiles de las situaciones (b) y (c) respecto de la (a) apreciando claramente que en el primer caso obtenemos reducciones de la sonoridad en todos los puntos evaluados, producto de la aplicaciones de las mejoras acústicas. En el caso (c) obtenemos un

incremento de la sonoridad en los puntos en los que existe influencia de los sonidos estacionarios incorporados como positivos, en nuestro caso las fuentes de agua, mientras que en el punto 3 no apreciamos esta diferencia puesto que se encuentra lejos de su alcance sonoro.

5 CONCLUSIONES

A lo largo de la realización de este trabajo, se han comprobado las dificultades que existen en relación a la caracterización del paisaje sonoro de un entorno urbano. Esto es debido fundamentalmente a la complejidad y variabilidad de la composición de sonidos urbanos, así como las limitaciones para obtener condiciones ideales de medida para realizar medidas acústicas y grabaciones que permitan captar fuentes sonoras de forma aislada. Estas características y la falta de repetibilidad de un instante sonoro son la causa de que los paisajes sonoros urbanos requieran ser evaluados y caracterizados por técnicas y parámetros acústicos diferentes a los niveles convencionales.

Este trabajo demuestra la viabilidad de la utilización de la auralización en el diseño urbano que, pese a las dificultades y limitaciones técnicas encontradas, ha permitido obtener simulaciones realistas de la escena sonora de la Plaza de Jacinto Benavente permitiendo analizar posteriormente determinadas propuestas de mejora en términos perceptivos.

La rehabilitación de un entorno requiere un proceso de diseño urbano que debe retroalimentarse a partir de diagnósticos que permitan establecer objetivos y las herramientas de simulación suponen un instrumento esencial para abordarlo desde un punto de vista perceptivo.

6 REFERENCIAS

- Aletta, F., Kang, J., & Axelsson, O. (2016). Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Landscape and Urban Planning*, Volume 149, Pages 65-74.
- Brown, L., & Muhar, A. (2004). An approach to the acoustic design of outdoor space. *Journal of Environmental Planning and Management*, 47. 10.1080 /0964056042000284857.
- Echevarria, G. M., Van Renterghem, T., Sun, K., De Coensel, B., & Botteldooren, D. (2017). Using Virtual Reality for assessing the role of noise in the audio-visual design of an urban public space. *Landscape and Urban Planning*.
- Jiang, L., Masullo, M., Maffei, L., Meng, F., & Vorländer, M. (2017). A demonstrator tool of web-based virtual reality for participatory evaluation of urban sound environment. *Landscape and Urban Planning*, 10.1016/j.landurbplan.2017.09.007.
- Raimbault, M., Lavandier, C., & Bérengier, M. (2003). Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities. *Applied Acoustics*, Volume 64, Issue 12, pages 1241-1256.
- Theile, G. (2001). Multichannel Natural Music Recording Based on Psychoacoustic Principles. *Nordic Sound Symposium XX, Bolkesjø*. München, Germany: IRT.
- Zwicker, E., & Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics: Facts and models*. Berlín: Springer-Verlag.