



FIA 2018

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

ESCUCHAR PARA PROYECTAR ARQUITECTURA ARCHITECTURAL DESIGN BY LISTENING

PACS: 43.55 Acústica Arquitectónica

Llorca, Josep¹; Vorländer, Michael²

¹AR&M, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona
Av. Diagonal 649
08028 Barcelona
España
Tel: +34 93 401 63 84

²Institute of Technical Acoustics, RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 5
52074 Aachen
Alemania
Tel: +49 241 80-97985
E-Mail: mvo@akustik.rwth-aachen.de

Palabras Clave:

Paisaje sonoro, diseño arquitectónico, auralización.

ABSTRACT

Architectural design process contains a crucial stage called "insight", in which the vital creative phase of the design process begins. Additionally, "design fixation", or simply designing from external stimuli, has been one of the most common methods to approach this phase. Sound as external stimuli for designing has been used in many historical cases. However, it has never been considered as a design engine for inhabited interior environments. For this reason, some experiments were taken in the Faculty of Architecture of RWTH Aachen University with the task of designing from a soundscape. This paper presents the first results of the experiment on the generation of student architectural designs using soundscape auralization and decodification of spatial perception. The results show that a good acceptance of the project-based experience in the field of room acoustics learning has been recorded by the students.

RESUMEN

El proceso del diseño arquitectónico contiene una etapa crucial denominada "intuición", en la que la fase del proceso de diseño empieza. Por otro lado, "design fixation", o dicho de otro modo, diseñar a partir de un estímulo externo, ha sido uno de los métodos más comunes para abordar esta fase. El sonido como estímulo externo para diseñar, ha sido usado en muchos casos a lo largo de la historia. Sin embargo, nunca ha sido considerado como un motor de diseño para entornos habitables de interior. Por esta razón, se han realizado algunos experimentos en la Facultad de Arquitectura de la RWTH University diseñando a partir de un paisaje sonoro. Este trabajo presenta los primeros resultados del experimento, que consiste en la generación de diseños arquitectónicos usando una auralización del paisaje sonoro y la decodificación de la percepción espacial. Los resultados muestran que los estudiantes muestran una buena aceptación de la experiencia basada en proyectos en el aprendizaje de la acústica arquitectónica.



FIA 2018

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

INTRODUCCIÓN

Tratar cuidadosamente la acústica en un espacio interior es totalmente necesario cuando se diseñan auditorios, salas de conciertos, teatros donde el disfrute de la música y la voz cantada debe ser de la mayor calidad. Pero la acústica también es necesaria en entornos más funcionales como salas de conferencias, aulas, estaciones de tren, aeropuertos, supermercados, donde la palabra debe ser inteligible para comprender el mensaje hablado. La arquitectura e ingeniería de la edificación tienen la responsabilidad de diseñar y construir espacios que ayuden a esos fines.

Contra esta necesidad, se piensa comúnmente que los problemas acústicos de los interiores de los edificios se resuelven únicamente con la electroacústica [Thompson 2002]. Esta concepción no sólo es defendida por el usuario normal de un edificio, sino que también llega a tener eco en la concepción de muchos arquitectos e ingenieros de la edificación. Éstos ignoran que la arquitectura modifica y condiciona la percepción del sonido que allí se está propagando. Suponen que un interior arquitectónico se oye bien por defecto y, como consecuencia, acuden a la electroacústica cuando, una vez construido, se encuentran con una realidad bien diferente. Además, el diseño del espacio puede tanto apoyar como invalidar una solución electroacústica. La envolvente espacial de un interior arquitectónico, por lo tanto, debe ser tratado para dirigir, atenuar, acentuar o modular el sonido que allí dentro se quiere escuchar. Y esta tarea le corresponde en gran medida al arquitecto e ingeniero de la edificación.

A pesar de la importancia del tema en cuestión, la educación de la acústica en las áreas de Arquitectura, es más bien escasa. Poco o nada sobre acústica se explica a los futuros arquitectos en las escuelas de arquitectura.

Este trabajo presenta un estudio realizado en la facultad de Arquitectura de la RWTH Aachen. Los objetivos son exponer y evaluar una experiencia educativa de acústica para arquitectos. Esta experiencia educativa propone un modo distinto de aprender acústica arquitectónica basado en el paradigma del Active Learning [Bonwell and Eison 1991]. En particular, se apuesta por un aprendizaje basado en el proyecto, donde el estudiante diseña el espacio con la acústica deseada y más tarde analiza las propiedades acústicas de su diseño para comprender el comportamiento acústico de la arquitectura. En este estudio se evalúan los resultados de los alumnos durante un curso de acústica arquitectónica, analizando la satisfacción, rendimiento y resultados de diseño de los estudiantes. Los estudiantes son evaluados frente a dos tipos de enseñanza en acústica: enseñanza mediante un *taller basado en diseño* (A) comparado con la enseñanza mediante una *lección teórica magistral* (B).

Este estudio usa una metodología mixta. Por un lado, se usan datos cuantitativos para evaluar los resultados de los estudiantes, mientras que, por otro, se recogen datos cualitativos para determinar las razones detrás de esos resultados. Estas metodologías están basadas en las investigaciones y publicaciones de Fonseca, et al, sobre la introducción de nuevas tecnologías en el currículum de Arquitectura [Fonseca et al. 2016; Fonseca, Redondo, and Villagrasa 2015; Llorca et al. 2018]. Estos estudios provén el marco apropiado y la confirmación de una metodología testada y fiable.

MARCO

En acústica arquitectónica, generalmente se han enseñado los conceptos antes de experimentarlos. Murray Schafer defendía que en acústica, lo que debíamos usar era, ante todo, los oídos [Schafer 1977]. La experiencia de un estudiante de arquitectura e ingeniería de la edificación ante la explicación de los conceptos suele ser bastante confusa. El estudiante no tiene conocimientos básicos sobre el sonido, por lo que desconoce que:

FIA 2018

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

- El sonido se puede medir según su frecuencia.
- El sonido puede ser percibido como agudo o grave dependiendo de su frecuencia.
- El sonido puede ser examinado de acuerdo a su amplitud.
- El sonido puede ser percibido como fuerte o débil dependiendo de su amplitud.
- El decibelio mide la presión sonora en referencia al umbral nominal del oído humano en una escala logarítmica.
- Las características físicas del sonido que determinan la percepción del timbre incluyen el espectro y la envolvente.
- Etc.

Todos estos conocimientos básicos son preliminares a cualquier estudio de acústica. Por lo tanto, de aquí se deduce que empezar a explicar conceptos de acústica arquitectónica sin entender las nociones anteriores ni tener experiencia de ellos, es un error pedagógico. Este problema ya fue descrito por [Cabrera, Ferguson, and Maria 2006; Cabrera and Ferguson 2007]. En estos trabajos, los autores proponían basarse en el concepto de “sonification” para enseñar acústica y audio: “The term sonification refers to the process of converting data into non-speech audio, and is distinct from auralization in that the process does not aim to simulate an actual or imagined sound environment.”

A menudo el profesor de acústica se puede encontrar con la siguiente situación: él explica que a mayor brillo de una sala, más se acentúan las frecuencias altas; y el estudiante no asocia que lo que acaba de explicar el profesor significa que cuando una orquesta toque allí en esa sala, las flautas y los violines sonaran más fuertes y estridentes que los contrabajos. Por lo tanto, toda la música que allí se interprete se teñirá de un sonido más parecido al que reproduce una radio de juguete que no al que se podría escuchar con un subwoofer. Esto ocurre porque el alumno de arquitectura e ingeniería de la edificación no ha tenido nunca contacto con los rudimentos de la ciencia del sonido. No conoce qué es un sonido agudo y otro grave y que esta distinción está estrechamente relacionada con la frecuencia del sonido y ahora esas palabras le suenan extrañas en su vocabulario.

No obstante, a pesar de esta limitación que presenta el alumno de arquitectura frente al mundo del sonido, este alumno tiene un arma a su disposición: la habilidad de dibujar y diseñar espacios arquitectónicos [Robbins and Cullinan 1994; Fraser and Henmi 1994; Suwa and Tversky 1997; Suwa, Purcell, and Gero 1998; Bilda, Gero, and Purcell 2006; Kanekar 2010]. Esta arma juega a su favor siempre y cuando sepa analizar lo que ha dibujado. Este alumno, generalmente, no tendrá la facilidad de definir y hablar sobre el sonido de un espacio, pero sí que es capaz de trasladar al papel el espacio que percibe en su cabeza. Todo arquitecto tiene o debe tener la capacidad de dibujar la idea espacial que contiene su imaginación. De lo contrario, nunca podrá transmitir a un tercero su propuesta de diseño. Por lo tanto, la metodología docente de acústica para el estudiante de arquitectura e ingeniería de la edificación es la inversa a la que se podría ofrecer a un estudiante de música. Si a este último se le pueden explicar directamente los conceptos de acústica porque lleva años de familiaridad con los conceptos del sonido, al arquitecto sólo se le puede enseñar acústica si se le hace reflexionar sobre el espacio que imagina y plasma en el papel.

Esta metodología se basa, pues, en diseñar un espacio arquitectónico a partir de un paisaje sonoro para, más tarde, analizar las propiedades acústicas del espacio diseñado. En este contexto ya se han realizado experiencias en la historia de la arquitectura y la construcción donde



FIA 2018

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

el sonido era el generador de ideas. Iannis Xenakis, arquitecto y compositor, diseñó la fachada principal del monasterio de La Tourette usando métodos estocásticos similares a los que usó en sus composiciones orquestales [Llorca and Llorca 2010; Xenakis 2008]. Renzo Piano diseñó el escenario arquitectónico para una pieza musical de Luigi Nono y los requerimientos espaciales que ésta requería [Palmese and Carles 2005]. Stockhausen y Fritz Bornemann diseñaron un lugar donde la espacialidad de la música era el tema central [M. Fowler 2010]. Adicionalmente, se han realizado algunas investigaciones acerca de las relaciones estrechas entre compositores y arquitectos [Moreno Soriano 2008; Clerc González 2003; Thompson 2002].

En los años recientes, se ha estudiado la influencia de la acústica en estudiantes de arquitectura. Sheridan and van Lengen [Sheridan and Lengen 2003] estudiaron un acercamiento educativo en el cual los estudiantes experimentaban las propiedades de espacios diferentes para realizar una propuesta de diseño arquitectónico. Michael Fowler enseña a los estudiantes de arquitectura sobre la importancia del sonido en las ciudades y les instiga a realizar propuestas urbanas para generar condiciones acústicas particulares [M. D. Fowler 2013]. Otros estudios han subrayado la capacidad de dibujar el patrimonio intangible cultural tales como el sonido, las historias populares o las rutas de senderismo [Ruiz 2017; Sunday 2018].

MATERIALES Y MÉTODO

Participantes

32 personas participaron en el experimento. Sus edades estaban comprendidas entre 19 y 35 años. Todos los participantes eran estudiantes de arquitectura, de modo que se podían considerar como participantes entrenados [Namba and Kuwano 1998]. El 45.2% de los estudiantes trabajaban durante sus estudios de arquitectura. En cuanto a su nivel de educación, el 26.2% de ellos no tenía educación musical; el 61.3% tenía educación musical elemental y el 12.5% de ellos tenía educación musical profesional. Todos los participantes participaron primeramente en la opción B (*lección teórica magistral*) y, más tarde, en la opción A (*taller basado en diseño*). Por lo tanto, las dos opciones no estuvieron randomizadas.

El taller basado en diseño

La experiencia consistió en dos fases, que diferían totalmente de una clase magistral. Ésta se presentó a los estudiantes en las siguientes condiciones: un fragmento de audio de corta duración se podía reproducir individualmente tantas veces como el estudiante deseara. Durante el test (de un total de 45 minutos), se les permitía bosquejar y dibujar el entorno arquitectónico que sugería el fragmento de audio sobre un A4 y un A3. Sobre el A4, se pedía dibujar una planta y sección del entorno escuchado. Los estudiantes podían dibujarlos con lápiz y regla sobre una rejilla de 1 x 1 metro a escala. Esta tarea duraba 15 minutos. En el A3, se pedía dibujar una axonometría militar del entorno escuchado. Los estudiantes podían dibujarla con lápiz, regla y escuadra. En los dibujos, podían incluir geometría, materiales, sombras, personas, objetos, vegetación, etc. También debían incluir una escala gráfica, indicar las posiciones de las fuentes y receptores sonoros. Esta última tarea duraba 30 minutos. El fragmento de audio consistía en una secuencia de sonidos que duraba 1 minuto y 49 segundos. Contenía la grabación desde un punto receptor en una sala. El entorno, donde las fuentes sonoras y el receptor estaban situados, estaban modelados en 3 dimensiones en Sketchup y posteriormente auralizadas [Vorländer 2008] en RAVEN [Schröder and Vorländer 2011]. El fragmento de audio contenía cuatro fuentes sonoras y un receptor fijo. Dos de las cuatro fuentes sonoras (la guitarra y la gente hablando y



FIA 2018

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

bebiendo) eran estáticas, mientras que las otras dos se movían dinámicamente (los pasos en la escalera y la mujer estornudando).

La segunda sesión consistía en la comprensión de algunos conceptos derivados de la experiencia anterior. Esta fue realizada en grupos pequeños de estudiantes (máximo 10). Los estudiantes eran introducidos en los principios fundamentales de la acústica y se les pedía investigar sobre las propiedades acústicas de sus propios diseños realizados en la primera sesión. En particular, se explicaban los conceptos de Respuesta al Impulso en la Sala y la Fracción de Energía Lateral [Gade 2007]. A continuación, se les pedía analizar y correlacionar la Fracción de Energía Lateral con las propiedades geométricas de sus dibujos con la finalidad de comprender mejor la fuerte relación entre el diseño arquitectónico y las propiedades acústicas de ese diseño.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el estudio se pueden encontrar en [Llorca, Redondo, and Vorländer 2018]. Allí se concluye que los estudiantes han valorado con buena aceptación la experiencia basada en proyectos en el aprendizaje de la acústica arquitectónica. Además, éstos valoran especialmente el cambio de paradigma desde el aprendizaje pasivo a el aprender desde la escucha. Estos resultados nos animan a que consideremos la inclusión este método en la enseñanza de la acústica arquitectónica. Sin embargo, se deben tener en cuenta algunas consideraciones para conseguir mejores resultados. La clave de estas mejoras se ha demostrado en la encuesta realizada a los estudiantes. En particular, este método necesita un alto nivel de organización para evitar la distracción del estudiante y, adicionalmente, debe estar siempre combinado con explicaciones teóricas sobre conceptos acústicos.

REFERENCIAS

- Bilda, Zafer, John S. Gero, and Terry Purcell. 2006. "To Sketch or Not to Sketch? That Is the Question." *Design Studies* 27 (5). Elsevier: 587–613.
doi:10.1016/J.DESTUD.2006.02.002.
- Bonwell, Charles C., and James A. Eison. 1991. *Active Learning : Creating Excitement in the Classroom*. Washington: School of Education and Human Development, George Washington University. <https://eric.ed.gov/?id=ED336049>.
- Cabrera, Densil, and Sam Ferguson. 2007. "Sonification of Sound: Tools for Teaching Acoustics and Audio." In *Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display*. Montréal.
<https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/50029/CabreraFerguson2007b.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cabrera, Densil, Sam Ferguson, and Robert Maria. 2006. "Using Sonification for Teaching Acoustics and Audio." In *Proceedings of ACOUSTICS 2006*. Christchurch, New Zealand.
https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AASNZ2006/papers/p105.pdf.
- Clerc González, Gastón. 2003. "La Arquitectura Es Música Congelada."



FIA 2018

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

- Fonseca, David, Ernest Redondo, and Sergi Villagrasa. 2015. "Mixed-Methods Research: A New Approach to Evaluating the Motivation and Satisfaction of University Students Using Advanced Visual Technologies." *Universal Access in the Information Society* 14 (3). Springer Berlin Heidelberg: 311–32. doi:10.1007/s10209-014-0361-4.
- Fonseca, David, Francesc Valls, Ernest Redondo, and Sergi Villagrasa. 2016. "Informal Interactions in 3D Education: Citizenship Participation and Assessment of Virtual Urban Proposals." *Computers in Human Behavior* 55: 504–18. doi:10.1016/j.chb.2015.05.032.
- Fowler, Michael. 2010. "The Ephemeral Architecture of Stockhausen's Pole Für 2." *Organised Sound* 15 (03). Cambridge University Press: 185–97. doi:10.1017/S1355771810000269.
- Fowler, Michael D. 2013. "Soundscape as a Design Strategy for Landscape Architectural Praxis." *Design Studies* 34 (1). Elsevier Ltd: 111–28. doi:10.1016/j.destud.2012.06.001.
- Fraser, Iain., and Rod. Henmi. 1994. *Envisioning Architecture : An Analysis of Drawing*. Van Nostrand Reinhold.
https://books.google.de/books?hl=es&lr=&id=zcs4BCXwBm8C&oi=fnd&pg=PP7&dq=drawing+imagined+spaces+architecture&ots=cC_1wU5orz&sig=VfZUZFL8DTnluzZaEfokjry11&redir_esc=y#v=onepage&q=drawing+imagined+spaces+architecture&f=false
- Gade, A. 2007. "Acoustics in Ha 9. Acoustics in Halls for Speech and Music." In *Handbook of Acoustics*, 301–50. Springer. <https://ccrma.stanford.edu/courses/318/mini-courses/papers/rooms/Gade - Handbook Ch9.pdf>.
- Kanekar, Aarati. 2010. "Between Drawing and Building." *The Journal of Architecture* 15 (6). Routledge : 771–94. doi:10.1080/13602365.2011.533543.
- Llorca, Josep, and Doménech Llorca. 2010. "La Tourette y Metastaseis : De Cómo Ordena El Material Un Arquitecto y Un Músico." *Circuito de Arquitectura* 1 (7): 5–16.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/85038>.
- Llorca, Josep, Ernest Redondo, and Michael Vorländer. 2018. "Learning Room Acoustics by Design: A Project-Based Experience." *International Journal of Engineering Education*.
- Llorca, Josep, Ernesto Redondo, Jesús Alba, and Héctor Mendoza. 2018. "Generation of Architectural Designs Using Soundscapes: First Findings." In *DAGA 2018 München*, 1046–48. München: DEGA. http://pub.dega-akustik.de/DAGA_2018/data/index.html.
- Moreno Soriano, Susana. 2008. *Arquitectura y Música En El Siglo XX*. Fundación Caja de Arquitectos. <https://www.casadellibro.com/libro-arquitectura-y-musica-en-siglo-xx/9788493592998/1248187>.
- Namba, S, and S Kuwano. 1998. *Psychometric Testing Method for Sound Evaluation*. Tokyo: Corona Company.
- Palmese, Cristina, and José Luis Carles. 2005. "Música y Arquitectura." *Scherzo* 193 (1). <http://www.scherzo.es/hemeroteca/2005-01-193.pdf>.
- Robbins, Edward, and Edward. Cullinan. 1994. *Why Architects Draw*. MIT Press.
https://books.google.de/books?hl=es&lr=&id=f3AgBLIG4I4C&oi=fnd&pg=PT95&dq=drawing+imagined+spaces+architecture&ots=CQ9p48YE8O&sig=G5DUPAK3Zw8m3AzDglookvB7Z0g&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Ruiz, Adolfo. 2017. "Transformation through Repetition: Walking, Listening and Drawing on Tlicho Lands." *International Journal of Art & Design Education* 36 (3). Wiley/Blackwell (10.1111): 253–60. doi:10.1111/jade.12156.
- Schafer, R. Murray. 1977. *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the*



FIA 2018

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

- World. Rochester, Vermont: Destiny Books. <https://philpapers.org/rec/SCHTSO-15>.
- Schröder, Dirk, and Michael Vorländer. 2011. "RAVEN: A Real-Time Framework for the Auralization of Interactive Virtual Environments." In *Forum Acusticum*. Aalborg - Denmark. https://www2.ak.tu-berlin.de/~akgroup/ak_pub/seacen/2011/Schroeder_2011b_P2_RAVEN_A_Real_Time_Framework.pdf.
- Sheridan, Ted, and Karen Van Lengen. 2003. "Hearing Architecture. Exploring and Designing the Aural Environment." *Journal of Architectural Education* 57 (2): 37–44. doi:<https://doi.org/10.1162/104648803770558978>.
- Sunday, Kristine E. 2018. "Drawing and Storytelling as Political Action: Difference, Plurality and Coming into Presence in the Early Childhood Classroom." *International Journal of Art & Design Education* 37 (1). Wiley/Blackwell (10.1111): 6–17. doi:10.1111/jade.12097.
- Suwa, Masaki, Terry Purcell, and John Gero. 1998. "Macroscopic Analysis of Design Processes Based on a Scheme for Coding Designers' Cognitive Actions." *Design Studies* 19 (4). Elsevier: 455–83. doi:10.1016/S0142-694X(98)00016-7.
- Suwa, Masaki, and Barbara Tversky. 1997. "What Do Architects and Students Perceive in Their Design Sketches? A Protocol Analysis." *Design Studies* 18 (4). Elsevier: 385–403. doi:10.1016/S0142-694X(97)00008-2.
- Thompson, Emily Ann. 2002. *The Soundscape of Modernity: Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933*. MIT Press.
- Vorländer, Michael. 2008. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Berlin: Springer.
- Xenakis, Iannis. 2008. *Music and Architecture: Architectural Projects, Texts, and Realizations*. Hillsdale: Pendragon Press.