

EL TRIBUNAL DE LAS AGUAS DE LA VEGA DE VALENCIA, ¿PAISAJE SONORO O RECINTO ABIERTO?.

PACS: 43.58.Vb, 43.58.Ta.

Jaume Segura García¹, Salvador Cerdá Jordá², Rafael Fayos Jordán¹, Elena Diaz Rubio², Alicia Giménez Pérez², Rosa M Cibrián Ortiz de Anda³

¹ Departamento de Informática, Universidad de Valencia, avenida Blasco Ibáñez, 13, 46010, Valencia, España, jsegura@uv.es.

² Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, camino de vera s/n, 46022, Valencia, España, rafael.fayos@uv.es, eldaru@alumni.upv.es, salcerjo@gmail.com, agimenez@fis.upv.es.

³ Departamento de Fisiología, Universidad de Valencia, avenida Blasco Ibáñez, 13, 46010, Valencia, España, rosa.m.cibrian@uv.es.

Palabras Clave: directividad, entornos virtuales, Tribunal de las Aguas, patrimonio, cámara anecoica.

ABSTRACT

El estudio de las características acústicas del entorno del Tribunal de las Aguas, en el vestíbulo de la puerta gótica de los Apóstoles de la Catedral de Valencia, presenta aspectos que permitirían abordarlo tanto como un paisaje sonoro (se encuentra en un extremo de la Plaza de la Virgen), como un recinto abierto, ya que está limitado por la catedral al fondo y la sede del tribunal al frente, siendo la voz el elemento fundamental del evento que allí se desarrolla. En este trabajo presentamos una adaptación del protocolo habitual utilizado para recintos cerrados, realizando una calibración a partir de medidas acústicas realizadas en el mismo entorno y caracterizando en cámara anecoica la fuente sonora de este evento, que es la voz del alguacil anunciando a los posibles denunciantes de las 8 acequias que están bajo la jurisdicción de este tribunal.

RESUMEN

The study of the acoustic characteristics of the Tribunal de las Aguas environment, in the entrance hall of the Gothic door of the Apostles of the Cathedral of Valencia, has aspects that would allow to approach it both as a soundscape (it is located at one end of the Plaza de la Virgen), and as an open enclosure, since it is limited by the cathedral at the back and the seat of the court at the front, being the voice the fundamental element of the event that takes place there. In this work we present an adaptation of the usual protocol used for closed enclosures, performing the calibration from the acoustic measurements made in it and characterizing in an anechoic chamber the sound source of this event, which is the voice of the bailiff announcing the possible complainants of the 8 ditches that are under the jurisdiction of this court.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de acústica virtual incluye una serie de técnicas informáticas y de procesamiento de señales acústicas que permiten estudiar y recrear el comportamiento acústico de una sala y ha demostrado ser una herramienta muy eficaz para el estudio acústico de los recintos patrimoniales tanto en su estado actual como en épocas anteriores.

Ahora bien, aunque la evaluación acústica de entornos interiores es habitual y está muy desarrollada, no es tan común en la descripción de ambientes acústicos de eventos en ambientes exteriores y menos aún que éstos tengan el reconocimiento de eventos patrimoniales como es el caso que presentamos. De hecho, no existe una herramienta específica para estudiar el comportamiento acústico de un espacio abierto con interés patrimonial.

Para resolver este reto, diferentes autores han estudiado la aplicabilidad de las herramientas que proporciona la acústica de salas en el estudio de paisajes sonoros patrimoniales abiertos y semiabiertos [1-3]. Cabe señalar, por su similitud con nuestro trabajo, la investigación llevada a cabo por Azevedo et al., en la que utilizaron la auralización para recrear todo el paisaje sonoro correspondiente al sermón de John Donne sobre el complot de la pólvora de 1622 en Paul's Cross, en el exterior de la catedral de San Pablo de Londres, tal y como era antes del incendio de 1666 [4].

Siguiendo la línea de estas investigaciones, en este trabajo se estudia el entorno acústico Tribunal de las Aguas de Valencia, declarado Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad en 2009 por la UNESCO, y que es la institución de justicia más antigua que existe en Europa. Cada jueves, se reúne en el exterior de la catedral de Valencia, bajo la puerta gótica denominada Puerta de los Apóstoles y en este entorno se juzga oralmente los pleitos entre los agricultores de las ocho acequias que riegan los campos de Valencia.

Esta circunstancia hace que el análisis de este evento tenga las características correspondientes a un entorno patrimonial abierto ya que la puerta gótica de la catedral forma parte de la plaza de la Virgen, y la voz del alguacil y del tribunal son el elemento fundamental de este paisaje sonoro.

El estudio correspondiente a la metodología para la caracterización de la voz del alguacil se ha desarrollado en otra comunicación presentada a este congreso [ver: "*metodología para la caracterización de la directividad de una fuente de sonido: el alguacil del tribunal de las aguas*" presentado en este congreso], por lo que en este trabajo nos vamos a centrar en la simulación acústica y la auralización generada para realizar un modelado visual para la navegación por el entorno y la valoración de la respuesta subjetiva a partir de una encuesta pública basada en el "protocolo sueco de calidad del paisaje sonoro" [5].

2. METODOLOGIA

La metodología seguida para este trabajo, en la medición acústica, se basa en los requisitos de la norma ISO-3382-1 [6] y algunas perspectivas abiertas en la norma ISO 12913 [7-9]. La simulación acústica se ha realizado con el software ODEON. La auralización del sonido del evento, se realizó una grabación anecoica del texto recitado durante las sesiones [ver: "*metodología para la caracterización de la directividad de una fuente de sonido: el alguacil del tribunal de las aguas*" presentado en este congreso]. Como resultado del proceso, se obtuvo la simulación acústica y visual del entorno del Tribunal de las Aguas de la Plana de Valencia. A partir de esta simulación se ha caracterizado el paisaje sonoro utilizando el protocolo establecido por Mitchell et al. [10].

2.1. Datos geométricos

Se utilizó un escáner láser FARO Focus 3D S120 (de FARO) [11] para registrar el entorno donde se desarrolla el Tribunal del Agua y se procesaron y vincularon un total de ocho escaneos utilizando el software Scene (de FARO). La nube de puntos generada se exportó al software AutoCAD (de AutoDESK) para realizar el modelado acústico y visual. Las mediciones adicionales de la Plaza de la Virgen y de la calle Miguelete, necesarias para realizar la caracterización, se obtuvieron a partir de su planimetría.

2.2. Construcción, calibración del modelo acústico, auralización y simulación visual

La metodología seguida en las mediciones acústicas (Figura 1) sigue las especificaciones de la norma ISO-3382-1 [6]

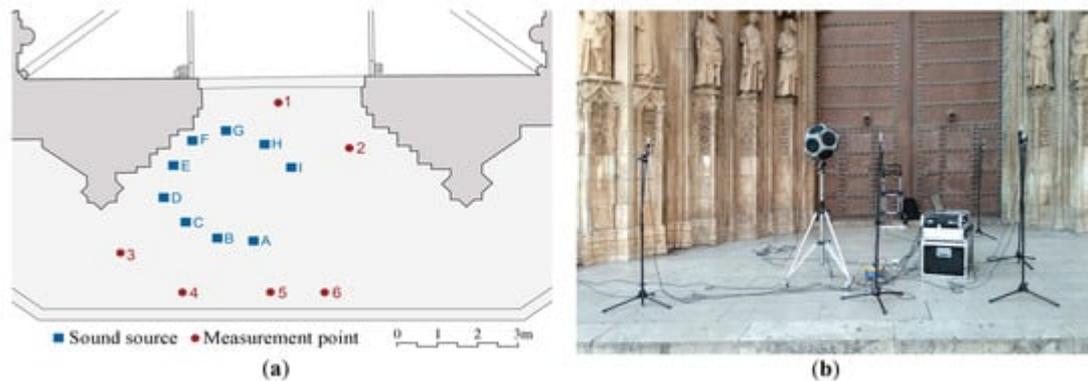


Figura 1. (a) Ubicación de las fuentes sonoras y los puntos de medición durante la medición acústica del entorno del Tribunal de las Aguas. (b) Imagen del equipo de medición acústica utilizado durante la medición acústica del entorno del Tribunal de las Aguas.

Para la simulación acústica se utilizó un modelo simplificado del entorno del Tribunal de las Aguas, que incluye la Puerta de los Apóstoles, la Plaza de la Virgen y la calle Miguelete. A partir de los escaneos 3D y la planimetría, se levantó un wireframe del entorno utilizando AutoCAD. Este software permite trabajar cómodamente tanto con los planos como con la nube de puntos generada. El modelo wireframe se exportó al software Sketchup, donde se generaron las superficies del modelo correctamente orientadas y con capas basadas en materiales reales. Para poder trabajar posteriormente con ODEON [12], el modelo se cerró con superficies que representaban el campo abierto, a las que se aplicó un material 100% absorbente en el proceso de simulación acústica. La figura 2 muestra el modelo acústico final, formado por 516 superficies y con un volumen de 150.865 m³; también muestra la fuente sonora -en color rojo- y los primeros receptores (la ubicación de los jueces) -en color azul-

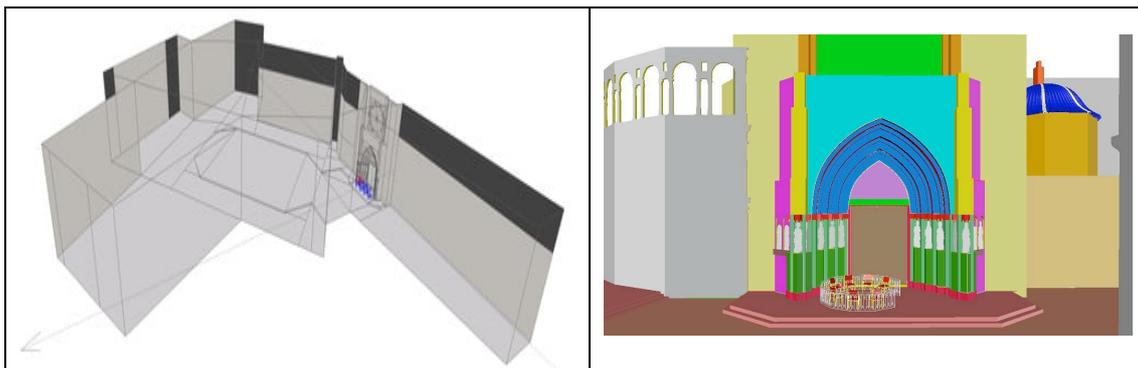


Figura 2. Modelo virtual utilizado en la simulación acústica del paisaje sonoro del Tribunal de las Aguas. Detalle de la puerta de los Apóstoles y el tribunal

La calibración del modelo acústico se ha realizado con los parámetros C80 (claridad musical) y C50 (claridad del habla) en lugar de con T30, ya que resultaron ser parámetros más estables en el entorno singular estudiado, en contraste con los resultados habituales en recintos cerrados [13].

Una vez calibrado el modelo acústico, la auralización se realizó mediante la convolución de una grabación in situ de una sesión del Tribunal del Agua con la respuesta impulsiva binaural del entorno (BRIR). Para ello, se calculó la potencia recibida en cada punto de recepción con el

software ODEON para tenerla como referencia. La potencia calculada se aplicó a la auralización, de forma que se establece la atenuación adecuada debida a la distancia y a la reverberación en cada punto. En el proceso, fue necesario reducir el ruido de fondo de la grabación en 3 dB. La grabación anecoica utilizada corresponde al habla del alguacil cuando llama a los miembros de las diferentes acequias y fue captada en la caracterización de la fuente sonora.

Para la simulación visual se utilizó un modelo geométrico con mayor nivel de detalle que el utilizado en la simulación acústica para darle una apariencia más realista y se exportó al software 3DS Max para realizar el texturizado.

La simulación completa del entorno se consigue combinando el sonido real obtenido por auralización con la simulación visual. Para ello, se establece un recorrido virtual en el que el espectador puede ver y oír lo mismo que si estuviera en el entorno real. De este modo, se obtiene un modelo donde tanto la imagen como el sonido se corresponden con la realidad.

2.3. Encuesta valoración subjetiva

Se elaboró un formulario de Google con la encuesta:

(https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd0PypVKfaVX9m5b8PIHPZUxOjN1KMnRCKZ_c69nP1VweKSrA/viewform), con los ítems siguiendo el llamado “protocolo sueco” para determinar la calidad del paisaje sonoro [5, 14-16]. La encuesta de este protocolo evalúa la calidad emocional percibida mediante ocho adjetivos: agradable, desagradable, activo/con muchas fuentes o eventos activos, relajado/con pocas fuentes o eventos activos, excitante, monótono, tranquilo, emocionante y ruidoso. También se pide información sobre algunos aspectos sociales (género y edad).

La encuesta se ofreció y probó a través de Internet, por lo que no se comprobaron las capacidades auditivas de los participantes. La prueba se presentó como un formulario de Google, con la recomendación de que se utilizara con auriculares. La evaluación del paisaje sonoro puede describirse con un modelo circunplejo [17].

La señal de prueba fue un vídeo simulado como un paisaje sonoro a pie desde el centro de la Plaza de la Virgen hasta el lugar donde se encuentra el Tribunal de las Aguas. La representación de audio es la auralización dinámica de la voz del alguacil con 25 respuestas de impulso simuladas en el modelo acústico de ODEON.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La figura 3 muestra la variación de C80 y C50 en la medición realizada con la fuente A (agente judicial), en función de la ubicación del receptor.

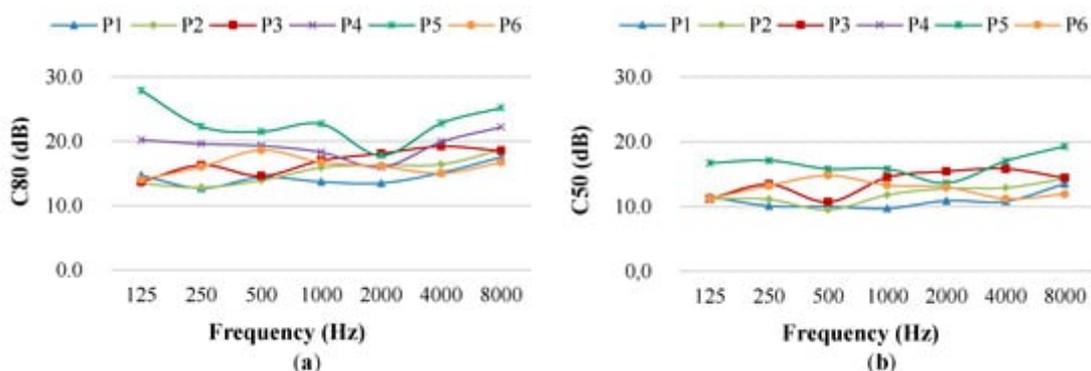


Figura 3. Variación de la frecuencia de las mediciones de C80 (a) y C50 (b).

Para la calibración del modelo acústico se establecieron los coeficientes de absorción de cada tipo de material, tomando como referencia los valores obtenidos por Vorländer mediante ensayos estandarizados [18], y se aplicó un material 100% absorbente a las superficies que representaban el campo libre.

Tabla 2. Coeficientes de absorción por frecuencias de los materiales utilizados en la simulación acústica.

Material	Absorption Coefficient by Frequency in Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Marble floor	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Limestone walls	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
Hard surfaces av	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
Solid wooden dc	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Free field	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

En cuanto a los coeficientes de dispersión, en este estudio se establecieron tres niveles, en función de la rugosidad de los materiales (suave: 0,10; medio:0,25 y rugoso:0,50). Los valores de estos coeficientes se ajustaron durante el proceso de calibración del modelo acústico. En este entorno, tiene especial importancia el grado de detalle de la decoración de la Puerta de los Apóstoles, que aumenta notablemente la dispersión de estas superficies.

La validación del modelo acústico se ha realizado utilizando el JND de los parámetros C80 y C50 y se estableció 2,5 dB como la JND para estos parámetros

Comparando la medición con la simulación de ODEON para todos los puntos, para el parámetro C80, encontramos que el 87% de los puntos de medición tienen un JND igual o inferior a la unidad, siendo el valor más desfavorable 1,38. Para el parámetro C50, dicho porcentaje es del 93%, siendo todos los valores inferiores a 1,2. En valores medios, la JND de ambos parámetros es inferior a la unidad, tomando para C80 el valor de 0,59 y para C50 el de 0,40. La figura 7 muestra la dispersión de los valores JDN de C80 y C50 con la simulación ODEON para cada una de las fuentes sonoras (B-I) que se corresponden con las ubicaciones de los distintos jueces de las diferentes acequias. La ubicación del alguacil está junto a la posición de A. (Figura 4)

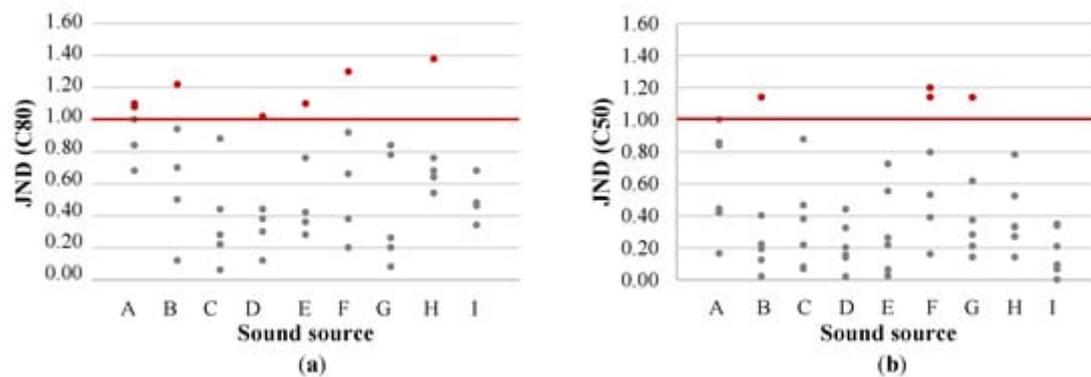


Figura 4. (a) Diferencia apenas perceptible de C80. (b) Diferencia apenas perceptible de C50. Las letras de la A a I representan las fuentes (jueces) y A representa al alguacil

3.1. Simulación visual

En la Figura 5, se muestra una vista del resultado final de la simulación visual. Para dar más realismo a la simulación, se incorporaron modelos 3D de personas para representar a los miembros del Tribunal de las Aguas y a los espectadores. Con el objetivo de difundir el estudio

realizado, se puede disfrutar del recorrido virtual del entorno del Tribunal de las Aguas en la página oficial del Grupo de Investigación Acústica Virtual (ACUSVIRT) [19].



Figura 5. (a) Vista general de la simulación visual del entorno del Tribunal de las Aguas. (b) Detalle de la representación de una sesión del Tribunal de las Aguas.

3.2. Parámetros psicoacústicos

Teniendo en cuenta los resultados y el código obtenido por Pastor et al. en [20], la señal de audio generada tras la auralización fue procesada para calcular los parámetros psicoacústicos (es decir, loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength y tonality -junto con la molestia psicoacústica de Zwicker-) con un software específico programado en Matlab [21]. La tabla 3 resume los valores calculados para el valor medio y la desviación estándar de los diferentes parámetros.

Tabla 3. Valores medios y desviación estándar de los parámetros psicoacústicos calculados para la auralización de la fuente sonora del alguacil en el entorno del Tribunal de las Aguas.

	Loudness (Sone)	Sharpness (Accum.)	Roughness (Asper)	Fl. Strength (Vacil)	Tonality (-)	Psychoac. Annoy.
Media	8.99	1.31	0.06	0.44	0.13	11.17
SD	7.46	0.15	0.06	0.57	0.15	8.32

Estos valores pueden relacionarse con la respuesta subjetiva evaluada con la encuesta pública basada en el Protocolo de Calidad del Paisaje Sonoro Sueco. En nuestro caso, se realizaron un total de 30 encuestas, de las cuales el 61,5% fueron realizadas por hombres y el 38,5% por mujeres. Además, la información sobre los rangos de edad de los encuestados correspondió a menores de 30 años (7,7%), entre 30 y 50 años (34,6%) y mayores de 50 años (57,7%). El valor de la moda estadística de la descripción del paisaje sonoro global es bueno (2), con una media igual a 2,3 y una desviación estándar igual a 1,2, mientras que el valor de la moda estadística en la evaluación de la adecuación del paisaje sonoro global al entorno percibido es muy adecuado (4), con un valor medio igual a 3,4 y una desviación estándar igual a 1,1. Las medias globales de las valoraciones subjetivas (en una escala de 1 a 5, donde 1 es "muy de acuerdo" y 5 es "muy en desacuerdo") para cada una de las valoraciones del paisaje sonoro percibido por los encuestados muestra que, en general, aunque los oyentes perciben el paisaje sonoro como poco molesto (4,03/1,37), poco caótico (4,19/1,05) y ligeramente excitante (3,42/1,27) debido a la reverberación percibida, lo interpretan como monótono (2,26/1,25) y poco activo (2,46/1,48) ya que el evento auralizado sólo presenta una fuente sonora principal, que es el agente judicial, pero con la reverberación interpolada en cada posición. Por lo tanto, el entorno se percibe como algo agradable (2,46/1,24) debido a la reverberación ambiental que no permite percibir correctamente la fuente en algunos puntos. En general la percepción subjetiva, puede ser calificada como "poco molesta".

8. CONCLUSIONES

El estudio acústico permitió generar una auralización dinámica, a partir de la interpolación de diferentes respuestas impulsivas en un recorrido prefijado. Junto con la simulación acústica y la auralización generada se realizó un modelado visual para la navegación por el entorno y su integración se puede observar en el recorrido simulado.

Se evaluó la respuesta subjetiva a partir de una encuesta pública basada en el "protocolo sueco de calidad del paisaje sonoro". Las estadísticas obtenidas (en escala Likert, donde 1 es "muy de

acuerdo y 5 es "muy en desacuerdo") en relación al "protocolo sueco", muestran que aunque, en general, los oyentes perciben el paisaje sonoro como poco molesto (4,03/1,37), poco caótico

(4,19/1,05) y ligeramente emocionante (3,42/1,27) debido a la reverberación percibida, lo interpretan como monótono (2,26/1,25) y poco activo (2,46/1,48), ya que en nuestro caso el evento auralizado sólo presenta una fuente sonora principal (alguacil), que nombra las 8 acequias que corresponden a la jurisdicción del tribunal y no hubo ningún demandante.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, subvención número BIA2016-76957-C3-3-R y por la Universitat de Valencia con la beca UV-INV-AE-1550319. Nos gustaría agradecer al alguacil del Tribunal de las Aguas de Valencia, Carlos Nácher, su colaboración en el todo el proceso llevado a cabo.

REFERENCIAS

1. Bevilacqua, A.; Ciaburro, G.; Iannace, G.; Lombardi, I.; Trematerra, A. Acoustic design of a new shell to be placed in the Roman amphitheater located in Santa Maria Capua Vetere. *Appl. Acoust.* 2022, 187, 108524.
2. Sukaj, S.; Ciaburro, G.; Iannace, G.; Lombardi, I.; Trematerra, A. The Acoustics of the Benevento Roman Theatre. *Buildings* 2021, 11, 212.
3. Chourmouziadou, K.; Kang, J. Acoustic evolution of ancient Greek and Roman theatres. *Appl. Acoust.* 2008, 69, 514–529.
4. Azevedo, M.; Markham, B.; Wall, J.N. Acoustical Archaeology Recreating the Soundscape of John Donne's 1622 Gunpowder Plot Sermon at Paul's Cross. In *Proceedings of the ICA 2013, Montreal, QC, Canada, 2–7 June 2013*; International Commission for Acoustics: Montreal, QC, Canada, 2013; Volume 19, p. 015133.
5. Axelsson, O.; Nilsson, M.E.; Berglund, B. A Swedish instrument for measuring Soundscape Quality. In *Proceedings of the Euro-Noise 2009: Action on noise in Europe, Edinburgh, UK, 26–28 October 2009*; Institute of Acoustics: Milton Keynes, UK, 2009.
6. ISO 3382-1; Acoustics Measurement of Room Acoustic Parameters. Part 1: Performance Rooms. ISO: Geneva, Switzerland, 2009.
7. ISO 12913-1:2014; Acoustics Soundscape Part 1: Definition and Conceptual Framework. ISO: Geneva, Switzerland, 2014.
8. ISO 12913-2:2018; Acoustics Soundscape Part 2: Data Collection and Reporting Requirements. ISO: Geneva, Switzerland, 2018.
9. ISO 12913-3:2019; Acoustics Soundscape Part 3: Data Analysis. ISO: Geneva, Switzerland, 2019.
10. Mitchell, A.; Oberman, T.; Aletta, F.; Erfanian, M.; Kachlicka, M.; Lionello, M.; Kang, J. The Soundscape Indices (SSID) Protocol: A Method for Urban Soundscape Surveys Questionnaires with Acoustical and Contextual Information. *Appl. Sci.* 2020, 10, 2397.

11. FARO Technologies Inc. FARO Laser Scanner FOCUS 3D. February 2013. Available online: <https://downloads.faro.com/index.php/s/CY5BS9Jd2JEf8YY> (acc 11-4-2022).
12. Christensen, C. ODEON Room Acoustics Program; Version 10.1, User Manual, Industrial, Auditorium and Combined Editions; ODEON A/S: Lyngby, Denmark, 2009.
13. Montell, R.; Giménez, A.; Cerdá, S.; Segura, J.; Cibrian, R.M.; Barba, A. Influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la Catedral Metropolitana de Valencia (Influence of the location of the sound source on the acoustic parameters in the Metropolitan Cathedral of Valencia). In Proceedings of the Acustica 2012, Évora, Portugal, 1–3 October 2012; Soc. Esp. Acustica: Madrid, Spain, 2012.
14. Axelsson, O.; Nilsson, M.E.; Berglund, B. A principal components model of soundscape perception. *J. Acoust. Soc. Am.* 2010, 128, 2836–2846.
15. Axelsson, O.; Nilsson, M.E.; Berglund, B. The Swedish soundscape-quality protocol. *J. Acoust. Soc. Am.* 2012, 131, 3476.
16. Cain, R.; Jennings, P.; Poxon, J. The development and application of the emotional dimensions of a soundscape. *Appl. Acoust.* 2013, 74, 232–239.
17. Watcharasupat, K.N.; Jaratjarungkiat, S.; Lam, B.; Jitwiriyanont, S.; Akaratham, K.; Ooi, K.; Ong, Z.T.; Suthiwan, T.; Pichetpan, N.; Rojtinnakorn, M.; et al. Quantitative Evaluation Approach for Translation of Perceptual Soundscape Attributes: Initial Application to the Thai Language. *arXiv* 2022, arXiv:2203.12245.
18. Vorländer, M. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 304–310.
19. Research Group in Virtual Acoustics at UPV-UVEG. El Tribunal de las Aguas. 2020. <http://www.upv.es/contenidos/ACUSVIRT/info/1091226normalc.html> (acc 9-9-2020).
20. Pastor-Aparicio, A.; Segura-Garcia, J.; Lopez-Ballester, J.; Felici-Castell, S.; García-Pineda, M.; Pérez-Solano, J.J. Psychoacoustic Annoyance Implementation with Wireless Acoustic Sensor Networks for Monitoring in Smart Cities. *IEEE Internet Things J.* 2020, 7, 128–136.
21. Segura-Garcia, J.; Lopez-Ballester, J.; Pastor-Aparicio, A. URPA: Urbauramon Psycho-Acoustic Annoyance Analyzer. 2019: <https://github.com/jausegar/urbauramon/tree/master/URPAA> (acc 19-4- 2022).