

EVALUACIÓN ACÚSTICA DE UN JARDÍN VERTICAL MODULAR COMO SOLUCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA

Ana Rizzo La Malfa¹, Ariel Velis², Carlos Posse², Gustavo Basso³

¹ Dra en Arquitectura y Urbanismo - Colaboradora ad honorem del Instituto y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) - Universidad Nacional de La Plata - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de La Plata (FAU-UNLP) - La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Tel: +54 221 423-6587/90

Email: iipac@fau.unlp.edu.ar

²Laboratorio de Acústica y Luminotecnia - Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL-CIC) C.P. 1897 - Manuel B. Gonnet, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Tel: +54 221 484-2686 / 471-2721

Email: ciclal@gba.gob.ar

³Instituto de Investigación en Producción y Enseñanza del Arte Argentino y Latinoamericano (IPEAL) - Facultad de Artes, Universidad Nacional de La Plata - La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Tel: +54 221 422 2938. Int. 33

Email: ipealinstituto@gmail.com

RESUMEN: La Infraestructura Verde Urbana (IVU) y las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) constituyen enfoques integrados para mitigar problemáticas ambientales en entornos urbanos. Este estudio evalúa el desempeño acústico de un sistema modular de jardín vertical —compuesto por especies nativas perennes y módulos independientes— instalado sobre una fachada simulada expuesta a ruido vehicular.

El análisis se realizó en dos etapas: ensayos en cámara reverberante bajo condiciones controladas, y simulaciones acústicas en un modelo simplificado de cañón urbano. En laboratorio, el sistema alcanzó coeficientes de absorción superiores a 0,5 a partir de 500 Hz, y un coeficiente de reducción de ruido (NRC) de 0,65.

Las simulaciones compararon tres tipos de fachada: reflectante, semi absorbente (50% vegetada) y totalmente vegetada. Se observó que la incorporación del jardín vertical puede reducir los niveles sonoros en fachada hasta en 10 dB, dependiendo de la frecuencia y la ubicación del punto de medición. Si bien los resultados son alentadores, se requiere validación a escala urbana. Además del beneficio acústico, el sistema aporta servicios ecosistémicos como regulación térmica, retención hídrica y fomento de la biodiversidad.

Palabras clave: jardines verticales, absorción acústica, infraestructura verde urbana, naturación urbana, soluciones basadas en la naturaleza, ruido vehicular

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica urbana representa un desafío ambiental prioritario, reconocido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, debido a sus efectos adversos sobre la salud pública, el ecosistema y la economía (Van Renterghem et al., 2020; World Health Organization, 2018). El tráfico vehicular se identifica como la principal fuente de ruido en entornos urbanos, demandando soluciones efectivas y sostenibles para su mitigación.



En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) ofrecen un enfoque integrador que promueve la implementación de infraestructura verde, la cual no solo contribuye a la reducción del ruido, sino que también brinda múltiples beneficios ecológicos, sociales y climáticos (Manso et al., 2021; Kabisch et al., 2016). Entre estas, los sistemas modulares de jardines verticales (SJV) se presentan como una estrategia innovadora de naturación urbana, capaces de reemplazar superficies reflectantes por vegetación viva, mejorando la absorción acústica de las fachadas y disminuyendo el ruido percibido en zonas densamente urbanizadas (Bakker et al., 2023; Wang et al., 2022). En tal sentido, estudios previos han demostrado que los sistemas de fachadas absorbentes, incluyendo jardines verticales, pueden mejorar las condiciones acústicas en espacios confinados como cañones urbanos, reduciendo la reflexión sonora y mejorando parámetros como el tiempo de reverberación y la inteligibilidad del habla (Horoshenkov et al., 2013; Eggenschwiler et al., 2024).

El presente estudio tiene por objetivo evaluar el desempeño acústico de un sistema modular de jardín vertical, mediante ensayos en cámara reverberante. Los datos experimentales se incorporan a simulaciones digitales de un cañón urbano, en las que se comparan diferentes tipos de fachada para analizar el impacto acústico del sistema bajo condiciones de tráfico vehicular realistas. La combinación de análisis experimental y modelado digital permite validar el potencial de los SJV como una solución replicable y eficaz para la mitigación del ruido urbano, alineada con los principios de diseño regenerativo y sostenibilidad ambiental.

El objetivo del trabajo consiste en evaluar el desempeño acústico de un sistema modular de jardín vertical como solución de Infraestructura Verde Urbana (IVU). Luego, los ensayos en cámara reverberante constituyen el método para alcanzar el objetivo del estudio.

Marco conceptual

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) constituyen estrategias contemporáneas que emplean procesos ecológicos para abordar problemáticas urbanas, promoviendo entornos más saludables, resilientes y sostenibles. Su implementación en el contexto urbano se materializa a través de infraestructura verde, que incluye techos verdes, corredores biológicos y jardines verticales, integrando la vegetación en el entorno construido (Lee et al., 2023; Cohen-Shacham et al., 2016; Pauleit et al., 2019).

Dentro de este marco, los jardines verticales modulares (SJV) se definen como sistemas independientes formados por módulos que contienen plantas, sustrato y sistemas de riego automatizados. Su diseño modular facilita la instalación y el mantenimiento, mientras que factores como la densidad vegetal, el tipo de sustrato y el nivel de humedad influyen en su desempeño tanto ecológico como físico (Aletta et al., 2016; Baker et al 2021; Paull et al., 2020).

Desde una perspectiva acústica, estos sistemas mejoran la interacción entre el sonido y la fachada, gracias a la capacidad de absorción generada por la combinación de vegetación, sustrato (Asdrubali et al., 2014, Yan et al, 2022) y estructura portante. Esta absorción se produce mediante mecanismos de fricción, dispersión y porosidad. El desempeño acústico se cuantifica a través del coeficiente de absorción acústica (α), que varía entre 0 (totalmente reflectante) y 1 (completamente absorbente), evaluado en distintas bandas de frecuencia.

Factores como la rugosidad superficial, permeabilidad, densidad del follaje y contenido de humedad podrían afectar directamente los valores de α . Por ello, el presente estudio incorpora un análisis experimental controlado en cámara reverberante conforme a la norma IRAM 4065-1, permitiendo evaluar estas variables de manera precisa.

En este trabajo, los resultados experimentales se utilizaron luego como base para simulaciones acústicas digitales en un modelo simplificado de cañón urbano, considerando tres tipos de fachadas: reflectante, semi absorbente y absorbente. Esta metodología integrada permite validar científicamente el potencial de los jardines verticales modulares como soluciones replicables y eficaces para la mitigación del ruido urbano, aportando además beneficios ecológicos coherentes con los principios de arquitectura regenerativa y sostenibilidad urbana.

METODOLOGÍA

Para analizar el comportamiento acústico de un sistema modular de jardín vertical instalado en fachadas, se adoptó un enfoque metodológico mixto que combinó mediciones en cámara reverberante (según IRAM 4065-1) con simulaciones acústicas tridimensionales en un entorno urbano simplificado. Esta estrategia permitió evaluar el desempeño acústico del sistema bajo condiciones controladas y en escenarios urbanos representativos.

El diseño experimental se fundamentó en antecedentes que muestran, según el modelo de SVJ utilizado, la influencia de variables como la profundidad del sustrato, humedad y cobertura vegetal sobre la absorción sonora (Yang et al., 2013; Horoshenkov et al., 2013; Van Renterghem et al., 2016). Considerando estos factores, se definieron combinaciones de vegetación y humedad para evaluar su impacto en el coeficiente de absorción acústica (α). Los resultados experimentales se complementaron con simulaciones digitales que replicaron la aplicación del sistema en fachadas dentro de un modelo de cañón urbano típico, incorporando geometría edilicia, ubicación del jardín y fuentes de ruido vehicular.

Diseño experimental en laboratorio

- Descripción de la muestra

El sistema modular consistió en tres capas: una base estructural de placas de PVC espumado (0,80 × 1,20 m, espesor 10 mm), un fieltro de algodón para soporte radicular y retención hídrica, y una capa frontal segmentada en bolsillos para contener sustrato y especies vegetales, conforme a criterios modulares recomendados (Manso et al, 2021). Las particularidades de los mismos se indican en la Figura 1.

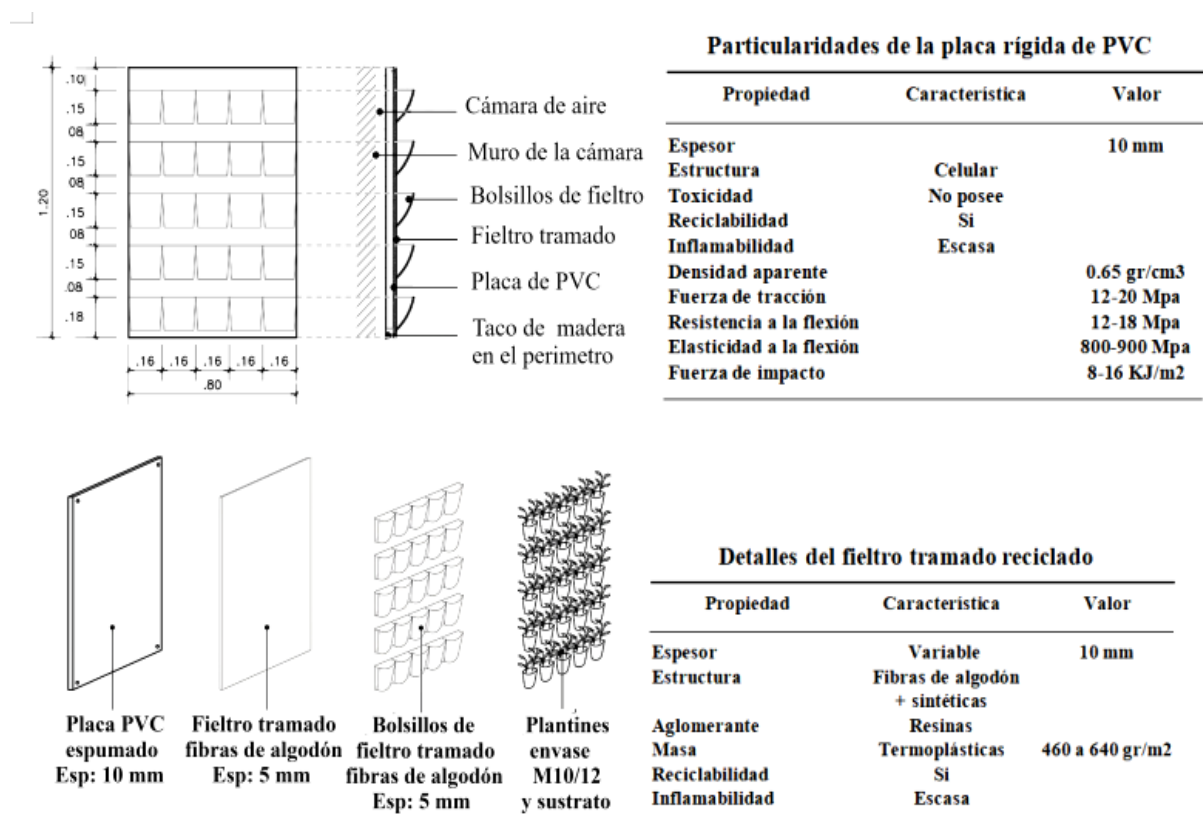


Figura 1. Conformación y detalles del panel base.

La selección de especies se basó en rusticidad y tolerancia en las condiciones locales, ajustándose tras una fase de aclimatación para optimizar desarrollo además de la consideración de estudios previos que relacionan características foliares con absorción acústica (Yang et al., 2013; Paull et al., 2020).

La composición inicial se conformó por cuatro especies distribuidas en el panel en igual proporción (25%) ubicadas dentro de los bolsillos con la cantidad de sustrato de características específicas tal como se indica en la Figura 2.


Especies seleccionadas		Particularidades del sustrato diseñado		
		Composición Físicoquímica	Valores	Unidad
 <ul style="list-style-type: none"> - Plectranthus coleoides (Incienso) - Plectranthus neochilus (Plectranthus) - Tradescantia purpurea (Tradescantia) - Salvia procurrens (Salvia) 	PH	7,2-7,5	--	
	Conductividad eléctrica (C.E.)	1,2	ms/cm	
	Materia orgánica (M.O.)	45	%	
	Cenizas	55	%	
	Densidad seca	470	gr/cm ³	
Porosidad total	77	%		

Figura 2. Particularidades de la vegetación y el sustrato.

Durante la fase de aclimatación previa a la medición acústica, se observaron problemas en el desarrollo de las especies lo que motivó la sustitución parcial o total de algunas. La conformación definitiva incluyó Plectranthus neochilus (40%), P. coleoides (33%), Tradescantia purpurea (25%), y en menor proporción T. zebrina y Soleirolia soleirolii o Manto de virgen (1% cada una). Salvia procurrens fue descartada por falta de adaptación.

- Método de medición

Los ensayos se realizaron en la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC, conforme a ISO 354:2003 e IRAM 4065-1, utilizando 12 módulos que cubrieron 11,52 m² sobre un bastidor con cámara de aire de 5 cm. Se evaluaron cuatro configuraciones: paneles vacíos y paneles vegetados en condiciones de humedad mínima, media y saturada, replicando escenarios operativos típicos (Bakker et al., 2023). Se registraron 36 mediciones por condición, calculando coeficientes α para bandas entre 100 Hz y 5000 Hz, además de indicadores NRC y SAA según ASTM C423-02a.

La muestra relevada presentaba una cobertura vegetal del 70%, distribuida de forma homogénea, con un total de 300 ejemplares. Este tipo de ensayos permite cuantificar la variación acústica ante distintos niveles de humedad del sustrato, un factor que, según Wang et al. (2022), influye significativamente en el desempeño acústico de los sistemas vegetados.

Las mediciones se desarrollaron en dos jornadas consecutivas para permitir la transición entre las distintas condiciones de humedad (Figura 3). En la primera jornada se evaluaron las condiciones “vacío” y “B”, mientras que en la segunda se midieron las condiciones “A” (deshidratada) y “C” (saturada). Cada etapa fue precedida y seguida por mediciones de la cámara vacía para permitir el cálculo diferencial del coeficiente de absorción α para cada caso.



Figura 3. Presentación de la muestra en la cámara reverberante.

Este enfoque experimental permitió cuantificar el comportamiento acústico del jardín vertical modular considerando variables reales de instalación, crecimiento vegetal y humedad, proporcionando una base objetiva para su análisis en entornos urbanos simulados.

- Simulación acústica urbana

Para estudiar la propagación sonora en entorno urbano, se diseñó un modelo tipo cañón urbano de 100 m de largo, 12 m de ancho y 30 m de altura, simulando calles angostas con fachadas paralelas (Wong et al., 2010). Se utilizó el software CATT-Acoustic v7.2, que combina trazado de rayos y modelos estadísticos híbridos.

Se evaluaron 14 puntos de recepción sonora distribuidos verticalmente cada 5 m en dos planos opuestos, permitiendo análisis de niveles sonoros a diferentes alturas (Figura 4).

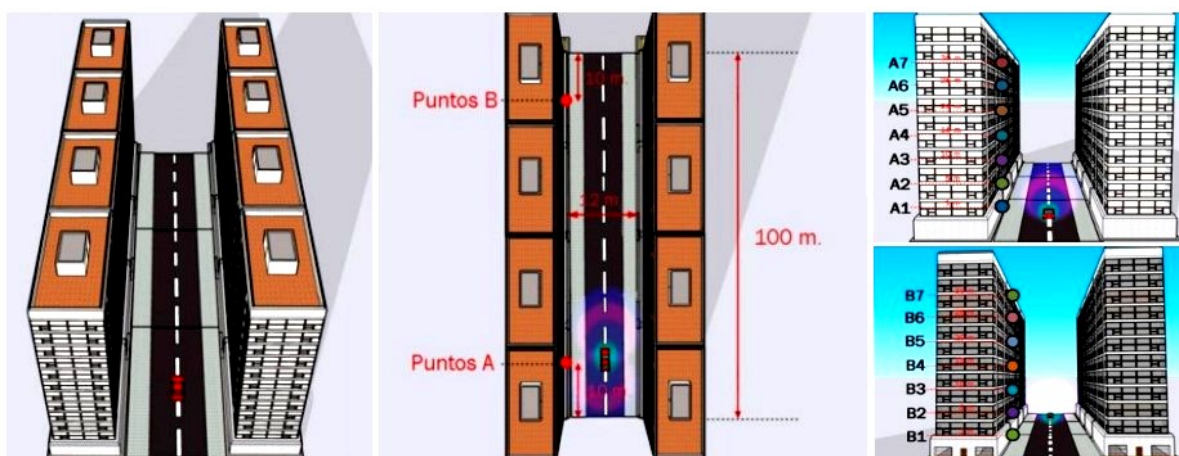


Figura 4. Características del cañón urbano simulado.

Los puntos de medición A1 a A7 se dispusieron en un mismo plano vertical, con una separación de 5 m entre ellos, comenzando en A1, situado a 1 m sobre el nivel del piso. De forma simétrica, los puntos B1 a B7 se ubicaron a 80 m de la fuente, es decir, a 10 m del extremo opuesto. Estos puntos también se distribuyeron verticalmente cada 5 m, comenzando en B1 a 1 m del suelo.

- Escenarios de fachada

Para las simulaciones, se asignaron las siguientes superficies:

Calle: hormigón

Ventanales: vidrio

Paredes: revoque tradicional

Zonas vegetadas: jardín vertical medido experimentalmente

Se modelaron tres escenarios de fachada: (a) reflectante (vidrio y revoque tipo damero), (b) mixta (vidrio y jardín vertical en sectores de muro) y (c) completamente absorbente (jardín vertical cubriendo toda la fachada). Esta secuencia permitió analizar el efecto progresivo de la vegetación sobre la atenuación del ruido en entornos urbanos.

- Características acústicas de la fuente de ruido utilizada

El espectro de la fuente, mostrado en la Tabla I, proviene de mediciones de ruido de tránsito realizadas en la ciudad de La Plata, según un estudio previo (Velis et al., 2015). Por motivos de simplicidad y relevancia acústica, se excluyeron las bandas de frecuencia por debajo de la octava de 125 Hz y por encima de 4000 Hz.

Tabla I. Espectro de la fuente de ruido utilizada

Frecuencias en tercios de octavos					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
85,5	80,9	78,4	80,0	76,4	68,2

El nivel global corresponde entonces a 88,4 dB, o medido con compensación en frecuencia A, quedaría en 83,5 dB(A).

- Parámetros relevados

La fuente sonora simulada fue tal como lo mencionado en el punto anterior. Los coeficientes de absorción para materiales convencionales se tomaron de la biblioteca del software, y para el sistema vegetal se usaron los valores medidos experimentalmente bajo norma ISO 354:2003, siguiendo el enfoque metodológico adoptado por Paull et al. (2020) y Wang et al. (2022).

Las simulaciones arrojaron diversos valores de nivel sonoro (dB(A)) a lo largo del cañón urbano, permitiendo comparar cuantitativamente el impacto acústico de cada configuración de fachada.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Resultados del ensayo en cámara reverberante de laboratorio

En la Figura 5 (Rizzo La Malfa et al., 2020; Rizzo La Malfa, 2023) se presenta un gráfico que muestra el coeficiente de absorción acústica α_s , tanto para los paneles por sí solos (sin sustrato ni vegetación) como para el sistema completo, considerando tres niveles distintos de humedad. Como conclusión principal, se observa que el coeficiente resulta prácticamente independiente de la presencia de plantas —al menos en este caso específico, con una cobertura vegetal del 60 al 70%—, así como también de la existencia o no del sustrato y de su grado de humedad. Este resultado, aunque era esperable, no se encontraba demostrado previamente. La explicación radica en que el tipo de panel utilizado en el sistema ya actúa como un buen absorbente acústico, especialmente en el rango de frecuencias altas. Esto se debe, en gran medida, a la textura del fieltro empleado en la confección de los bolsillos soporte, así como al revestimiento aplicado sobre los paneles de PVC espumado.

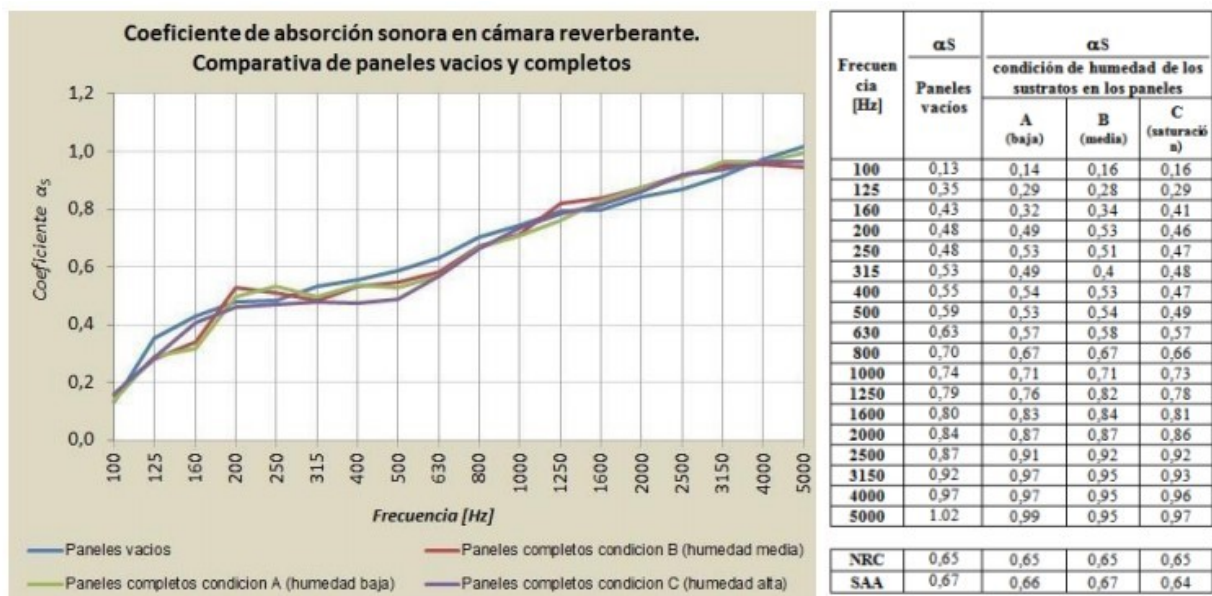


Figura 5. Variación del coeficiente α en los cuatro estados según la frecuencia.

Finalmente, se realizó una comparación del desempeño acústico promedio entre el sistema vegetado —considerando el promedio de las tres condiciones de humedad— y distintos materiales convencionales habitualmente empleados en la construcción de envolventes edilicias. La Figura 6 ilustra esta

comparación, poniendo en evidencia que el sistema vegetado presenta un rendimiento acústico comparable, e incluso superior en algunos casos, al de otros materiales constructivos convencionales, lo que resalta su viabilidad técnica como solución pasiva con el valor agregado de aportar beneficios ambientales adicionales.

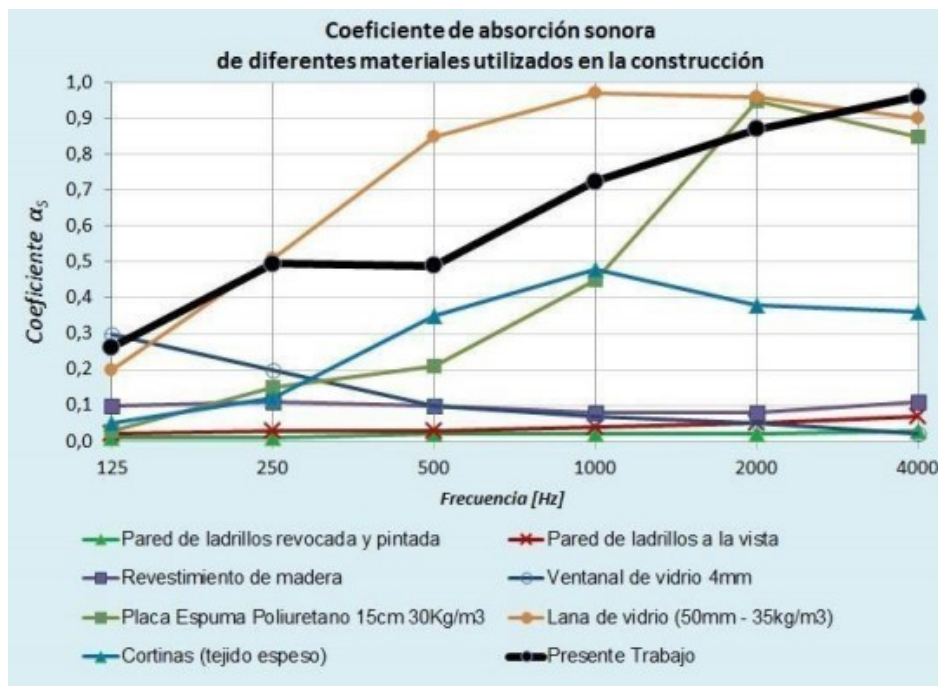


Figura 6. Comparación entre el coeficiente de absorción sonora α_s de la muestra respecto a otros materiales

Resultados de simulación

En la Figura 7 se presentan los tres modelos geométricos utilizados en la simulación, junto con la disposición de los puntos de medición. Estos modelos fueron denominados: Condición 1: fachada totalmente reflejante (compuesta por vidrio y pared, Figura 7a); Condición 2: fachada semiabsorbente (vidrio y jardín vertical, Figura 7b); y Condición 3: fachada totalmente absorbente (cubierta íntegramente por jardín vertical, Figura 7c). En todas las condiciones se emplearon la misma distribución de puntos de medición.

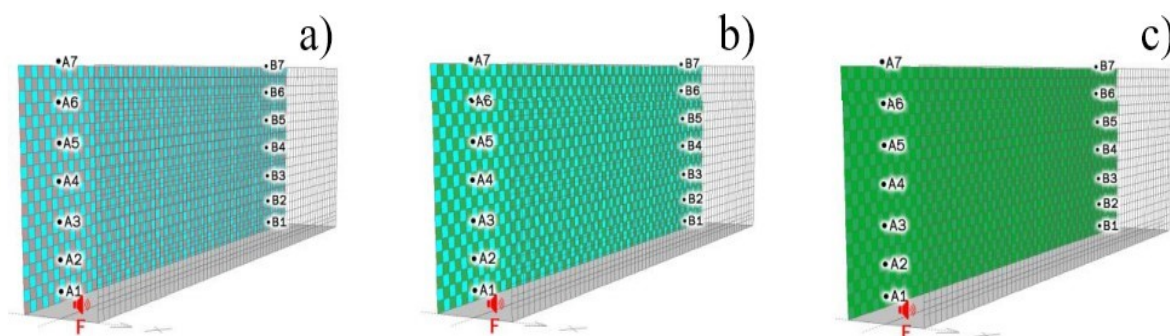


Figura 7. Modelos geométricos de simulación de las 3 condiciones: a) Vidrio y pared, b) Vidrio y jardín y c) Jardín completo

- Simulación condición 1. "Fachada totalmente reflejante"

En la Figura 8 se muestra el nivel sonoro registrado en cada punto de interés. En el gráfico de la izquierda, cada serie corresponde a un punto y está representada en función de la frecuencia. En cambio,

en el gráfico de la derecha, cada serie representa una frecuencia específica y se muestra en función de los distintos puntos de ubicación (ordenados desde el más cercano hasta el más lejano a la fuente).

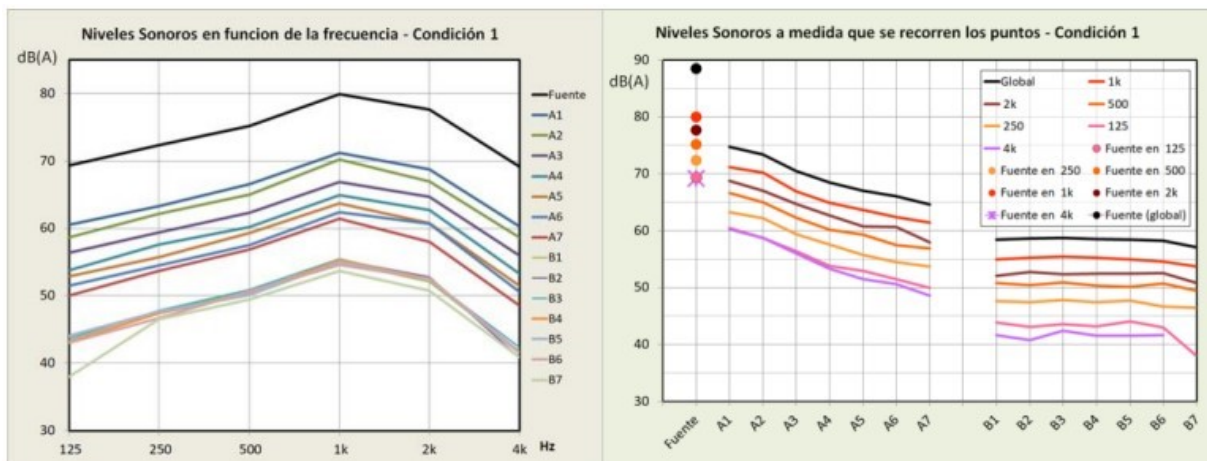


Figura 8. Condición 1. Espectro de niveles sonoros compensados “A” en cada punto de medición.

Los resultados de simulación de una fachada totalmente reflejante muestran los niveles sonoros más elevados del conjunto, coherentes con la presencia de superficies de vidrio y revoque que preservan la energía incidente y favorecen reflexiones especulares. La distribución espacial entre los 14 puntos de medición revela máximos locales vinculados a interferencias y focos de reflexión, lo que genera un campo sonoro heterogéneo y picos de nivel según altura y distancia a la fuente. Espectralmente, la falta de absorción en la envolvente mantiene bandas medias y altas con mayor energía, incrementando la contribución de componentes reflejadas al nivel global A. La geometría del cañón simulado favorece trayectorias largas y múltiples rebotes que amplifican estos efectos especulares. En síntesis, la condición 1 actúa como línea base crítica para exposición acústica urbana y evidencia la necesidad de tratar la envolvente para reducir picos y reverberación.

- Simulación condición 2. “Fachada semiabsorbente”

Los resultados se muestran en la Figura 9, siguiendo el mismo criterio gráfico que en la condición anterior, para facilitar su comparación.

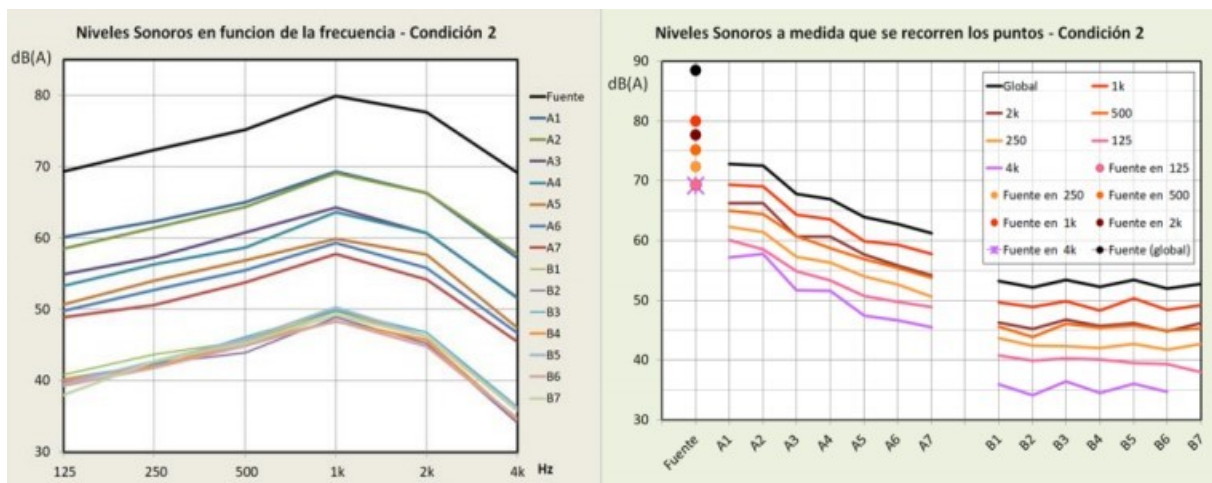


Figura 9. Condición 2. Espectro de niveles sonoros compensados “A” en cada punto de medición.

La incorporación parcial de módulos vegetados introduce mecanismos de absorción y dispersión que atenúan el campo sonoro con reducciones promedio intermedias (orden de magnitud consistentemente de 3 a 5 dB respecto a la condición reflejante). El efecto es espacialmente no uniforme: los receptores más cercanos a la fuente muestran menor cambio, mientras que los puntos intermedios y lejanos

evidencian mayor caída de nivel por la disminución del campo reverberante. La atenuación es más marcada en bandas medias-altas (>500 Hz), coherente con los coeficientes de absorción medidos experimentalmente empleados en el modelo. La presencia parcial de vegetación también aumenta la difusión superficial, reduciendo la formación de lóbulos de radiación especular y suavizando la respuesta espectral. Así, la condición 2 representa una solución de compromiso con beneficios reales pero dependientes de la distribución espacial de la cobertura.

- Simulación condición 3. “Fachada absorbente”

Al igual que en las condiciones anteriores, en la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos.

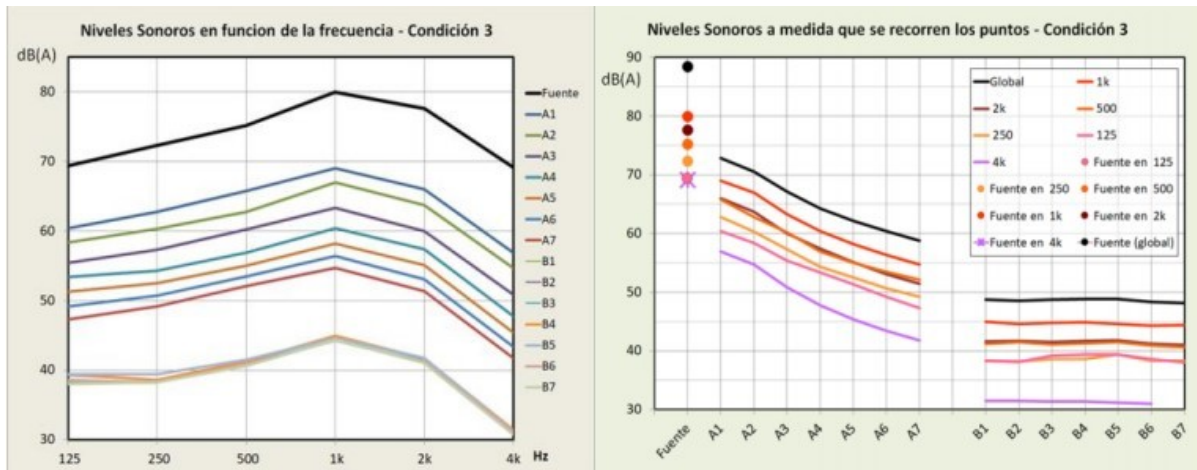


Figura 10. Condición 3. Espectro de niveles sonoros compensados “A” en cada punto de medición.

Cubrir íntegramente la envolvente con el sistema vegetado produce la mayor atenuación, alcanzando reducciones de hasta aproximadamente 10 dB en niveles globales A en puntos favorables y mejorando la uniformidad del campo sonoro. La disminución de energía reflejada es especialmente notable en receptores lejanos y en bandas medias-altas, donde el comportamiento del sistema aporta absorción consistente. No obstante, la eficacia disminuye hacia las bajas frecuencias por la limitada capacidad de los materiales porosos y del panel en ese rango. En conjunto, la condición 3 evidencia el mayor potencial de mitigación pasiva sobre la envolvente.

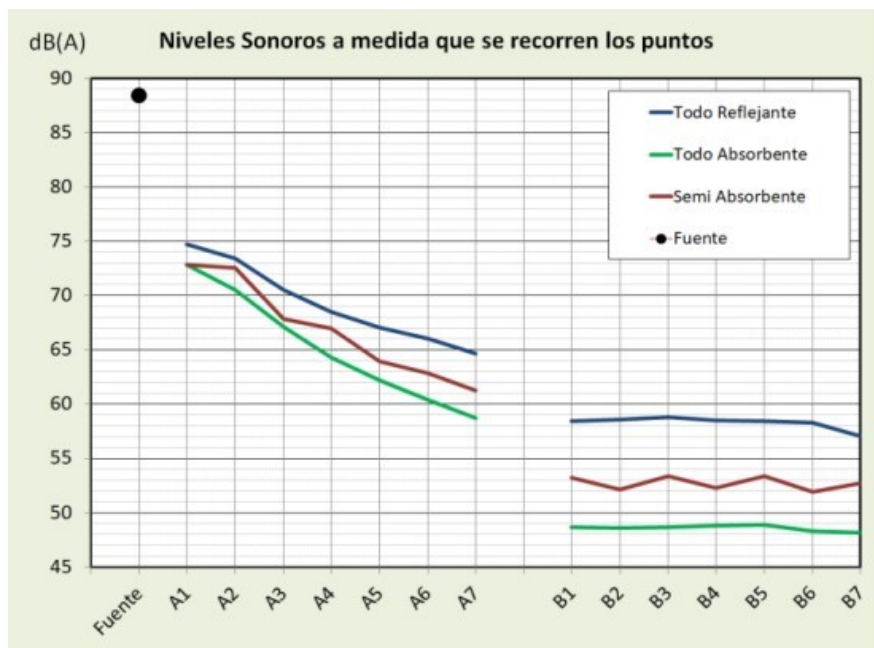


Figura 11. Niveles sonoros globales “A” para las tres condiciones

Comparativa de las 3 condiciones

La Figura 11 muestra los niveles globales, compensados A en los diferentes puntos y para las 3 condiciones. El análisis comparativo muestra una progresión clara en reducción de niveles: condición 1 (peor) → condición 2 (intermedia) → condición 3 (mejor), con diferencias máximas de hasta 10 dB entre extremos y alrededor de 5 dB entre estados intermedios en puntos y bandas seleccionadas. La variabilidad espacial y espectral indica que la cobertura total proporciona mayor beneficio en bandas medias-altas y en receptores distantes, mientras que la intervención parcial aporta ganancias relevantes pero localizadas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de ensayos en laboratorio y simulaciones digitales permitieron validar el desempeño acústico del sistema modular de jardín vertical como una solución pasiva eficaz para la mitigación del ruido urbano. Las pruebas en cámara reverberante mostraron un comportamiento acústico notable, con coeficientes de absorción superiores a 0,5 a partir de 500 Hz y un coeficiente de reducción de ruido (NRC) de 0,65. Este rendimiento se atribuye principalmente a la acción combinada de los distintos componentes del sistema —vegetación, sustrato y estructura portante—, y en particular al fieltro de algodón que recubre los bolsillos del panel, el cual demostró ser el principal responsable de la absorción sonora gracias a su alta porosidad y rugosidad superficial, propiedades que favorecen los mecanismos de fricción y disipación de la energía acústica incidente.

Por otra parte, la humedad contenida en el sistema no parece alterar de forma apreciable su comportamiento acústico en términos de absorción.

Las simulaciones tridimensionales, realizadas sobre un modelo simplificado de cañón urbano, complementaron los resultados experimentales y evidenciaron reducciones del nivel sonoro global de hasta 10 dB al comparar una fachada sin tratamiento vegetado con una cobertura total (100%), y de hasta 5 dB respecto a una cobertura parcial del 50%. Estas reducciones dependen fuertemente de la distancia al punto receptor respecto de la fuente sonora y de la frecuencia analizada, observándose las atenuaciones más significativas en las frecuencias altas y en los puntos más alejados.

Desde una perspectiva integral, el sistema evaluado no solo demuestra un desempeño técnico consistente en términos de mitigación sonora, sino que también brinda servicios ecosistémicos relevantes, como la regulación térmica, la retención hídrica y la promoción de la biodiversidad. Estas cualidades lo posicionan como una tecnología coherente con los principios de infraestructura verde urbana, naturación arquitectónica y arquitectura regenerativa. Su incorporación en estrategias de diseño urbano sostenible no solo es deseable, sino también técnica y ambientalmente justificada.

REFERENCIAS

- Aletta, F., Kang, J., Zhou, Y. (2016). Soundscape and soundscape ecology – From theory to applications. *Science of the Total Environment*, 553, 1–8. Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/367054751_Soundscape_in_city_and_built_environment_current_developments_and_design_potentials [consulta: 5 Junio de 2025]
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Mencarelli, N., Horoshenkov, K.. (2014). Sound absorption properties of tropical plants for indoor applications. The 21st international congress on sound and vibration, Beijing, China. 1-8. Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/312368939_Sound_absorption_properties_of_tropical_plants_for_indoor_applications
- ASTM C 423-02^a (2012) Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method - Método de prueba estándar para absorción de sonido y coeficientes de absorción de sonido por el método de sala de reverberación. Resumen recuperado de: <https://standards.globalspec.com/std/3812206/ASTM%20C423-02a>
- Bakker, J., Lugten, M., Tenpierik, M. (2023). Applying vertical greening systems to reduce traffic noise in outdoor environments: Overview of key design parameters and research methods. *Building*

- Acoustics, 30(1), 1–23. Dirección URL: <https://research.tudelft.nl/en/publications/applying-vertical-greening-systems-to-reduce-traffic-noise-in-out> [consulta: 1 Junio de 2025]
- Bakker, J., Lugten, M., Ottelé, M., Tenpierik, M., Pietsch, S. (2021). Improving the acoustic absorption of vertical greening systems. Master's thesis, Delft University of Technology. Dirección URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aebb67d29-4ab9-4c12-873c-c2bfc05d3b36> [consulta: 1 Junio de 2025]
- Cohen-Shacham E., Janzen C, Maginnis S, et al. (2026) Nature-based solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Dirección URL: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf> [consulta: 26 de julio de 2025]
- Eggenschwiler, K., Jansohn, T., Blau, M., Schäffer, B. (2024). Effects of sound absorbing facades on the acoustical quality in different simulated inner courtyard situations. *Acta Acustica*, 8, 9. Dirección URL: https://acta-acustica.edpsciences.org/articles/aacus/full_html/2024/01/aacus230092/aacus230092.html [consulta: 22 de julio de 2025]
- Horoshenkov, K. V., Khan, A., Benkreira, H. (2013). Acoustic properties of low growing plants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5), 2554–2565. Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/236662584_Acoustic_properties_of_low_growing_plants [consulta: 4 Junio de 2025]
- IRAM 4065 (1995) Acústica. Medición de absorción de sonido en cámara reverberante
- ISO 354:2003 Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room (Acústica: medición de la absorción acústica en una sala reverberante). Dirección URL: <https://www.iso.org/standard/4308.html> [consulta: 14 Junio de 2025]
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Hansen, R. (2022) Principles for urban nature-based solutions. *Ambio* 51, 1388–1401. Dirección URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13280-021-01685-w.pdf> [consulta: 9 Junio de 2025]
- Lee, S., Park, H., Kim, Y. (2023). Acoustic benefits of green infrastructure in urban areas. *Tranquil City*. Dirección URL: <https://tranquilitycity.co.uk/reports/2023-acoustic-benefits> [consulta: 3 Junio de 2025]
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111. Dirección URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120304020> [consulta: 5 Junio de 2025]
- Pauleit, S., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Hansen, R., Kowarik, I., Niemelä, J., Olafsson, A., van der Jagt, A. (2019). Urban Green Infrastructure – Connecting People and Nature for Sustainable Cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 40. 10.1016/j.ufug.2019.04.007. Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/332406549_Urban_Green_Infrastructure_-_Connecting_People_and_Nature_for_Sustainable_Cities [consulta: 10 Junio de 2025]
- Paull, N. J., Krix, D., Torpy, F. R., Irga, P. J. (2020). Can green walls reduce outdoor ambient particulate matter, noise pollution and temperature? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5084. Dirección URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/14/5084> [consulta: 30 mayo de 2025]
- Rizzo La Malfa, A. (2023). Estrategias sustentables para controlar la contaminación acústica en espacios urbanos y residenciales. Tecnologías de naturación urbana aplicada a fachadas. Tesis doctoral Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. Dirección URL: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/161161> [consulta: 22 de julio de 2025]
- Rizzo La Malfa, A.; Velis, A.; Posse, C.; Armas, A.; Miguel, S.; Figueira, A.; Gabin Portmann, J.; Cortés, R.; Favre, M.; Mini, P.; Bretti, J. (2020). Sistemas modulares verticales: Evaluación de la absorción acústica en laboratorio, *Revista ECOS Volumen 1, N° 1*, pp. 48-51, Dirección URL: <https://doi.org/10.36044/EC.V1.N1.7> [consulta: 22 de julio de 2025]
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D. (2016). View on outdoor vegetation reduces noise annoyance for dwellers near busy roads *Landscape and Urban Planning*, Volume 148, 203-215, ISSN 0169-2046. Dirección URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.018> [consulta: 4 Junio de 2025]
- Van Renterghem, T., Dekoninck, L., Botteldooren, D. (2020). Multi-stage sound planning methodology for urban redevelopment. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102362. Dirección URL: <https://biblio.ugent.be/publication/8680491> [consulta: 22 de julio de 2025]

- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., Horoshenkov, K. V. (2013). The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Building and Environment*, 61, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.007> [consulta: 3 Junio de 2025].
- Velis, A. G., Iasi, F., Armas, A., Posse, C., Vechiatti, N., Tomeo, D. (2015). Análisis de la evolución de parámetros acústicos del ruido urbano en la ciudad de La Plata a lo largo de un día. XIII Congreso Argentino de Acústica – VII Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas, Buenos Aires, Argentina. <https://adaa.org.ar/wp-content/uploads/2021/04/adaa2015-021.pdf>.
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., Wong, N. C. (2010). Acoustic evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411–420. Dirección URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132309001632> [consulta: 30 mayo de 2025]
- Yan, F., Shen, J., Zhang, W., Ye, L., Lin, X. (2022). A review of the application of green walls in the acoustic field. *Building Acoustics*, 29(2), 295–313. Dirección URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1351010X221096789> [consulta: 1 Junio de 2025]
- Yang, H.-S., Kang, J., Cheal, C. (2013). Random-incidence absorption and scattering coefficients of vegetation. *Acta Acustica united with Acustica*, 99(3), 379–388. Dirección URL: https://www.researchgate.net/profile/Hong-Seok-Yang/publication/258455034_Random-Incidence_Absorption_and_Scattering_Coefficients_of_Vegetation/links/5c43281992851c22a3812440/Random-Incidence-Absorption-and-Scattering-Coefficients-of-Vegetation.pdf [consulta: 3 Junio de 2025]
- Wang, P., Wong, Y. H., Tan, C. Y., Li, S., Chong, W. T. (2022). Vertical Greening Systems: Technological Benefits, Progresses and Prospects. *Sustainability*, 14(20), 12997. Dirección URL: <https://doi.org/10.3390/su142012997> [consulta: 3 Junio de 2025]
- World Health Organization, Regional Office for Europe (2018), Environmental noise guidelines for the European Region. Dirección URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/279952/9789289053563-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulta: 29 junio de 2025]

ACOUSTIC EVALUATION OF A MODULAR GREEN WALL AS AN URBAN GREEN INFRASTRUCTURE SOLUTION

ABSTRACT: Urban Green Infrastructure (UGI) and Nature-Based Solutions (NbS) are integrated approaches to mitigate environmental issues in urban settings. This study evaluates the acoustic performance of a modular vertical garden system—composed of perennial native species and independent modules—installed on a simulated façade exposed to traffic noise.

The analysis was carried out in two stages: tests in a reverberation chamber under controlled conditions, and acoustic simulations in a simplified urban canyon model. In the laboratory, the system achieved sound absorption coefficients higher than 0.5 from 500 Hz onwards, and a Noise Reduction Coefficient (NRC) of 0.65.

The simulations compared three types of façades: reflective, semi-absorbent (50% vegetated), and fully vegetated. Results showed that incorporating the vertical garden can reduce façade sound levels by up to 10 dB, depending on the frequency and the measurement point location.

While the results are promising, validation at an urban scale is required. In addition to its acoustic benefits, the system provides ecosystem services such as thermal regulation, water retention, and biodiversity enhancement.

Keywords: vertical gardens, sound absorption, urban green infrastructure, urban greening, nature-based solutions, traffic noise