

04-008

ENVIRONMENTAL NOISE POLLUTION: GREEN OPEN ACOUSTIC BARRIER PROJECT

Castiñeira- Ibáñez, Sergio⁽¹⁾; García Soro, Juan Miguel⁽¹⁾; Loustalot, Tina⁽¹⁾; Rubio Michavila, Constanza⁽¹⁾

⁽¹⁾Universitat Politècnica de València

Noise is a great scale environmental problem affecting not only people, but also the fauna that inhabits zones near urban environments or vehicles passing zones. Society transport infrastructure ever-grows in developed countries, hence it is inevitable that they go through zones, which are very proximal to natural environments. When noise emission reduction price is too high, one of the possible solutions consists on the utilization of acoustic barriers. Moreover, it could be interesting to design acoustic barriers that blend into the landscape making them unnoticed. This would allowed, the fauna living inside, to take benefits of it which constitute a matter of great interest. In this way, screens based on sonic crystals could be a suitable candidate in order to do that, as they are opened structures composed by rigid elements that can be covered with absorbent materials that allow vision trough themselves. In this paper, a green-barrier that uses the abovementioned approach is presented. The proposed design is made from natural materials, specifically trees, which are arranged according to a sonic crystal. In addition, trees with different nature and whose bark show absorbent properties will be combined. When selecting the different trees species, autochthonous ones will be carefully assessed.

Keywords: *Noise Pollution; Open Acoustic Barrier; Green Acoustic Barrier; Fractals*

CONTAMINACIÓN ACÚSTICA MEDIOAMBIENTAL: PROYECTO DE PANTALLA ACÚSTICA VERDE ABIERTA

El ruido es un problema medioambiental de gran magnitud que afecta tanto a las personas como a la fauna que habita en zonas próximas a zonas de paso de vehículos. Las infraestructuras de transporte de seres humanos proliferan en los países desarrollados y es inevitable que transcurran por zonas próximas a parajes naturales. Cuando reducir la emisión de ruido no es posible, o es demasiado caro, una de las soluciones para el control del ruido en su transmisión consiste en la utilización de pantallas acústicas. Conseguir que estas pantallas formen parte del paisaje y pasen desapercibidas, integradas o incluso favorezcan que la fauna que queda dentro de su perímetro pueda aprovecharla, es de gran interés. Las barreras basadas en cristales de sonido pueden ser buenas candidatas para ello ya que son estructuras abiertas formadas por elementos rígidos que pueden ser recubiertos con material absorbente y que permiten la visión a su través. Basadas en este tipo de pantallas se presenta un proyecto de diseño de una pantalla-verde, formada por árboles, dispuestos en forma de cristal de sonido siguiendo una estructura prefactal. Se valorarán las especies autóctonas de las zonas a tratar que presenten propiedades absorbentes.

Palabras clave: *Contaminación sonora; Pantalla acústica abierta; pantalla acústica verde; Fractales*

Correspondencia: Constanza Rubio Michavila



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El ruido es un problema medioambiental, que se pone de manifiesto tanto en las grandes ciudades como en zonas turísticas de los países desarrollados (Alonso, 2003) siendo además el responsable de determinadas dolencias auditivas, dolores de cabeza, estrés e irritabilidad, entre otras afecciones referidas a la salud humana. Estos problemas se suelen solucionar actuando sobre las viviendas, introduciendo mejoras en los elementos constructivos. Otros ciudadanos optan por una solución más drástica, mudándose de las grandes urbes a zonas rurales o periurbanas, donde los efectos del ruido son menores.

Generalmente estos desplazamientos, se relacionan con actividades y momentos de ocio, lo que lleva consigo un aumento de ruido (Alonso, 2003). Como consecuencia, poblaciones rurales o lugares alejados de las grandes urbes donde antes el ruido no era un problema, se convierten ahora en zonas acústicamente contaminadas. Esta nueva situación está ligada a circunstancias sociales y comportamiento de las poblaciones, como pueden ser las migraciones por vacaciones, días libres, excursiones, etc. A estos movimientos y tendencias sociales se les puede englobar en el denominado turismo rural, tendencia que va en aumento en los últimos años (El turismo rural se consolida como alternativa al de masas, 2016), debido principalmente a la cercanía y la fácil accesibilidad a este tipo de turismo, lo que lleva asociado problemas de contaminación acústica en zonas rurales y periurbanas.

Los movimientos migratorios de las grandes urbes a zonas rurales han acarreado una modificación en los afectados por la contaminación acústica. Mientras que antes los principales afectados era la población humana, ahora, ésta afecta tanto a humanos como a diferentes poblaciones de animales (Costello & Symes, 2014). Si bien la fauna acuática, entre los que cabe destacar a los cetáceos, ha sido bastante estudiada respecto a la afección del ruido, no se puede decir lo mismo de la fauna terrestre. No obstante, existen varios artículos que indican que los insectos se ven afectados por la contaminación acústica, bien sea porque enmascara la llamada del macho a la hembra bien porque pierden sensibilidad auditiva por lo que, disminuye la probabilidad de detectar a un depredador cerca aumentando la probabilidad de ser devorado (Costello & Symes, 2014; Schmidt, Morrison & Kunc, 2014). La afectación de la contaminación acústica en los insectos, pueden provocar grandes desequilibrios en el ecosistema, ya que forman parte fundamental de la cadena trófica de especies superiores como las aves y, lo más importante, son esenciales en el ciclo de los nutrientes y el reciclaje de estos en el ecosistema (Guzmán-Mendoza et al., 2016).

Siguiendo con la cadena trófica, se ha demostrado que esta contaminación también afecta a capacidad para detectar las señales acústicas necesarias para la reproducción y sociabilización en diferentes vertebrados, como por ejemplo ranas y pájaros (Huet des Aunay et al., 2014). Particularmente en la avifauna, algunos artículos coinciden en que el ruido ambiental afecta a la reproducción de estos, ya que casi todas las aves se aparean, comunican o evitan la depredación mediante el canto. Esta forma de comunicarse queda interferida por las bajas frecuencias del ruido emitido por industrias, vehículos, música u otras actividades de índole antropogénico. Esto lleva consigo que muchas especies adapten sus cantos a frecuencias más altas para diferir de las bajas del ruido ambiental, pero todos coinciden que aunque las hembras sean capaces de distinguir estos cantos adaptados, prefieren los cantos a bajas frecuencias (Huet des Aunay et al., 2014; Luther & Magnotti, 2014; McMullen, Schmidt & Kunc, 2014). Más recientemente (Buxton et al., 2017) se han publicado estudios sobre la influencia y el peligro de la contaminación acústica en otros vertebrados.

Frente a la problemática acústica, se interpusieron medidas tanto a nivel europeo mediante la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 (ampliada

en la directiva 2015/996 de la Comisión Europea), sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental, en el que sólo se hace referencia a la población humana (DE EUROPA, 2002), mientras que en el ámbito estatal, en este caso concreto España, la Ley 37/2003, de 17 noviembre (y los Reales Decretos que desarrollan distintos aspectos de esta ley), del ruido, hace referencia a la fauna en el artículo 8: Fijación de objetivos de la calidad acústica (Boletín Oficial del Estado, BOE, 2003), donde el objetivo 2 dice lo siguiente:

“Para establecer los objetivos de calidad acústica se tendrán en cuenta los valores de los índices de inmisión y emisión, el grado de exposición de la población, la sensibilidad de la fauna y de sus hábitats, el patrimonio histórico expuesto y la viabilidad técnica y económica”

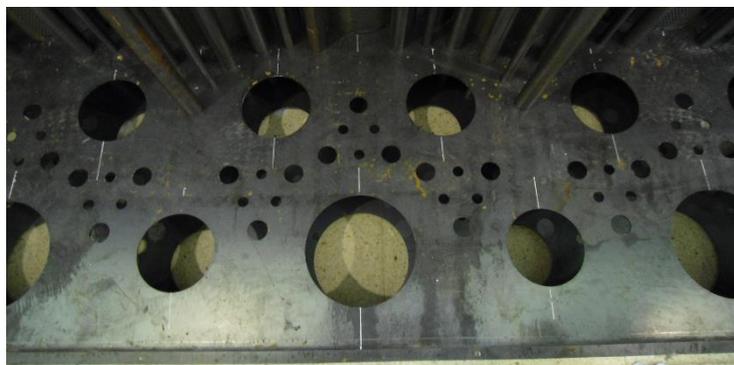
Frente a esta contaminación, una de las posibles medidas a realizar es actuar sobre el medio de transmisión del ruido mediante el uso de pantallas acústicas. El modo de funcionamiento de éstas es el evitar la propagación directa del sonido entre la fuente y el receptor, siendo éstas más eficientes cuando el sonido se produce lo más cerca posible de la barrera antiruido, debido a lo que se conoce como sombra acústica (Van Renterghem et al., 2015). Uno de los grandes inconvenientes de las pantallas acústicas rígidas continuas son los bordes superiores de éstas, ya que cuando hay viento se produce lo que se conoce como RESWING (Refracción del sonido por gradientes inducidos por el viento), por este motivo se propuso colocar árboles más altos detrás de dichas pantallas, con los que se llegó a recuperar hasta 4,5 dBA perdidos por la velocidad del viento y el efecto del RESWING (Van Renterghem et al., 2015). Por tanto, parece que el uso de plantas podría llevar a la mitigación del ruido, como por ejemplo el uso de setos reduce el ruido del tráfico, que aparece a bajas frecuencias, ya que las hojas, ramitas, ramas y troncos funcionan como dispersores con los que se mitiga el sonido, obteniendo reducciones de hasta 2,2 dBA, dependiendo de la velocidad del vehículo y del receptor. También se pueden usar especies de árboles con las que crear un cinturón verde. Se conoce que con cinturones vegetales se obtienen reducciones de hasta 15 dB, dependiendo de la anchura del cinturón y el marco de plantación del mismo (Van Renterghem et al., 2014; Ow & Ghosh 2017), además de la importancia ecológica que tiene sobre el medio ambiente y, la protección que le confiere a las ciudades en la moderación del CO₂. Con un cinturón de entre 40-60 metros se podría moderar el CO₂ que proporciona los vehículos que por allí pasaran (Senanayake, Rupasinghe & Halwatura, 2017).

Estos cinturones, necesitan como mínimo 30 metros para una buena reducción del ruido, así pues, en ciudades son muy complicadas de instalar, por eso en este proyecto se contempla la posibilidad de crear pantallas acústicas vegetales en las orlas de los bosques, con la finalidad de proteger a la fauna de su interior. La necesidad de la integración paisajística en los montes, hace que este tipo de pantallas sean las idóneas ya que si la vegetación natural es lo suficientemente alta, amplia y densa existen estudios que afirman que disminuye el ruido tráfico (Ow & Ghosh, 2017). La existencia de pantallas basadas en cristales de sonido (SC) (Sánchez-Pérez et al, 2002), que son pantallas formadas por dispersores cilíndricos aislados inmersos en aire, permiten abrir un nuevo horizonte de manera que se diseñe una pantalla con una buena calidad de integración en el paisaje, permitiendo mediante una disposición determinada inhibir la transmisión del sonido evitando bloquear la visión a través de la barrera. Esta nueva propuesta de barrera vegetal basada en SC estará formada por árboles que actuarán como centros dispersores dispuestos de tal manera que los picos de atenuación, predichos mediante la Ley de Bragg, permitirán atenuar las frecuencias no deseadas (Martínez-Sala et al. 2006).

En esta comunicación se presenta una pantalla vegetal novedosa, basada en cristales de sonido siguiendo ordenamientos fractales (Castiñeira-Ibáñez et al., 2012). Una pantalla abierta basada en cristales de sonido y con los dispersores dispuestos siguiendo este tipo de ordenamiento, fue homologada en 2011. En la figura 1 se observa un esquema de la base

utilizada con ordenamiento cuasi-fractal, y que este trabajo pretende emular mediante distintas especies arbóreas con diferente anchura de tronco y alturas.

Figura 1.- Detalle de la base de la estructura homologada donde se observa el ordenamiento cuasi-fractal que se pretende alcanzar.



Con este ordenamiento y una disposición correcta de individuos, se pueden distinguir tres zonas tal y como se muestra en la figura 2. La zona más próxima al suelo, denominada en este trabajo zona 1, estaría formada por matorrales y los troncos de los dos tipos de especies a considerar en este proyecto. Ahora bien, debido a que la vegetación tipo matorral para rangos de frecuencia entre 200-4000 Hz tienen un comportamiento amplificador del sonido (Bucur, 2006), es conveniente dejar esta zona limpia de estas especies. Con el fin de conseguir la disposición cuasi-fractal propuesta, y con vista a una contribución a la atenuación del ruido, se introducen especies con forma cilíndrica (tipo junco/caña). Además, esta propuesta es beneficiosa en otros aspectos como son: (1) contribuir a que la fauna, sobre todo de pequeño tamaño, no tenga posibilidad de atravesar vías concurridas de tránsito (rodado o ferroviario), (2) evitar la acumulación de vegetación colindante a vías rodadas que presenten un gran poder combustible ante posibles negligencias humanas, (3) sustitución de quitamiedos metálicos de las vías rodadas por cinturones vegetales.

Figura 2.- Esquema de las diferentes zonas de estudio atendiendo a la disposición y altura de los árboles utilizados e imagen real donde se aprecian la coexistencia de diferentes especies arbóreas.



En la zona 2 sólo actúan los troncos de los dos tipos de especies y en la zona 3 contribuyen las copas de los árboles más bajos y los troncos de los más altos. De esta forma, se protegen los ecosistemas, bien diferenciados, de estas tres zonas.

Actualmente las pantallas basadas en cristales de sonido se están ganando un puesto en el mercado de la protección pasiva frente al ruido en la fase de transmisión, sobre todo, en el ámbito de la construcción civil. El objetivo de este trabajo es justificar que esta novedosa pantalla verde puede ser utilizada como pantalla vegetal antiruido y, por lo tanto, enfocar su uso a la protección de la fauna. Para ello, se va a realizar un estudio numérico, evaluando la pérdida por inserción cuando es colocada la pantalla entre el foco de ruido y la zona a proteger. Se analizan estos resultados mediante la utilización de espectros acústicos de atenuación y mapas de presión sonora de la zona de estudio.

2. Modelo numérico para la evaluación de la atenuación acústica de la pantalla: método de los elementos finitos

Habitualmente, el desarrollo de modelos teóricos que permiten explicar la interacción de ondas acústicas con diferentes objetos es un método usual ya que ayudan a comprender la física en nuevos sistemas y dispositivos y a estudiar sus potenciales aplicaciones tecnológicas sin necesidad de construir diferentes dispositivos. No obstante, los métodos numéricos son una buena alternativa a los teóricos para encontrar soluciones a problemas que involucran geometrías complicadas y para poder estudiar la interacción de las ondas con los dispersores. En este caso, dado que se va a trabajar con material vivo, es imprescindible el uso de estas herramientas para poder predecir el rendimiento de la pantalla acústica vegetal basada en distribución cuasi-fractal. Los modelos propuestos son modelos 2D que corresponden a cada una de las zonas comentadas en la introducción. Se considera la pantalla finita, tanto en altura como en longitud y los troncos de los árboles se modelizarán como cilindros. Dado un diseño, a partir de la simulación se determina la atenuación del sonido (en dB) en función de la frecuencia (en Hz). La simulación se ha llevado a cabo utilizando el Método de Elementos Finitos (FEM). El software comercial empleado para obtener las predicciones numéricas es COMSOL Multiphysics. En este método se parte de la ecuación de Helmholtz que es la que se debe resolver y que viene dada por:

$$\nabla\left(\frac{1}{\rho}\nabla p\right)=\frac{\omega^2}{\rho c^2}p \quad (1)$$

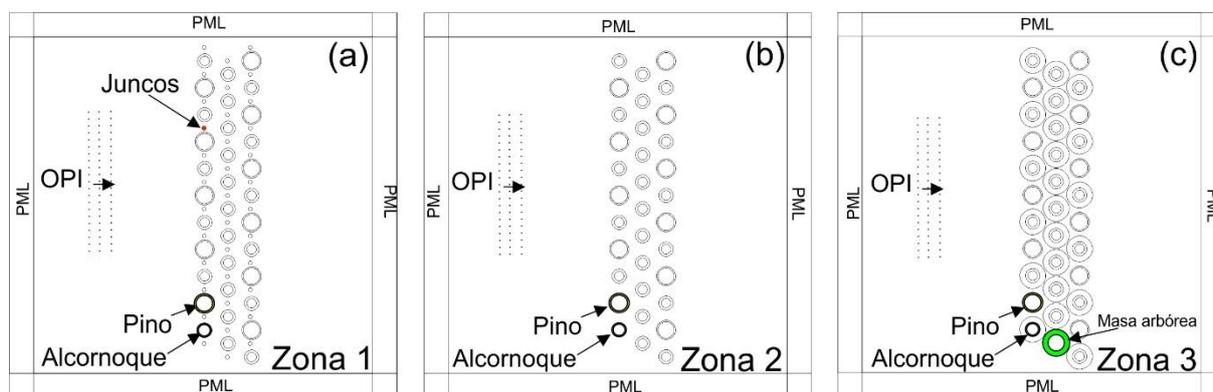
donde, en este trabajo, ρ es la densidad del aire, c es la velocidad del sonido en el medio de propagación (aire), ω es la frecuencia angular y p es la presión acústica.

Para abordar el problema mediante FEM, se debe definir la geometría de la estructura, discretizar el dominio y considerar las condiciones de contorno. El modelo se ha resuelto utilizando malla triangular con más de 10^6 grados de libertad. A partir de aquí, mediante la resolución numérica de la ecuación (1) en cada punto del dominio seleccionado, se obtiene la solución del problema.

Para simular las características de este problema, se ha considerado que la onda incidente es plana (OPI, Onda Plana Incidente) y que ésta no se refleja, es decir, la propagación se realiza en condiciones de espacio libre (dominio acústico sin límites). La resolución de estos tipos de problemas utilizando FEM es sólo posible mediante la aplicación de algunos límites artificiales en el dominio numérico (PML) (Berenguer, 1994). En la figura 3 se muestra el dominio de resolución del problema numérico para las tres zonas de estudio. El espacio está rodeado de cuatro PML para evitar, pues, reflexiones de las ondas.

La estructura (pantalla vegetal) se considera formada por cilindros. Los cilindros modelizan el tronco de las especies elegidas. Así para la zona 1, figura 3 (a), se utilizan juncos/cañas de baja altura junto a dos tipos de especies: pino (*Pinus halepensis*) y alcornoque (*Quercus suber*). En la zona 2, figura 3 (b), se consideran los troncos de pino y alcornoque, mientras que en la zona 3, figura 3 (c), debido a la mayor altura del pino frente al alcornoque, se añade la copa de estos últimos. Los juncos/cañas se modelizan con la condición de Neumann (velocidad de sonido cero) ya que se consideran rígidos.

Figura 3: Esquema del modelo numérico y condiciones de contorno para las tres zonas de estudio: (a) Zona 1, donde coexisten tres tipos de vegetación: Juncos, Pino y Alcornoque; (b) Zona 2, donde contribuyen los troncos de Pino y Alcornoque; (c) Zona 3, integrada por los troncos de Pino y Alcornoque más las copas de estos últimos.



En el caso de los árboles, los cilindros están rodeados de material absorbente. Esto es así ya que la corteza de los troncos presenta una gran absorción del sonido incidente. Por tanto, en la simulación la parte interior se modeliza condición de contorno de Neumann (velocidad de sonido cero) y la exterior (corteza) formada de material absorbente, condición de contorno continuidad y subdominio Delany-Bazley, (resistencia al flujo: 9000 kg/m³ s para alcornoque y 30000 kg/m³ s para el pino). La copa del alcornoque se ha supuesto formada por ramas y hojas con una resistencia al flujo de 10000 kg/m³ s. Los parámetros geométricos y características absorbentes de los árboles utilizados se muestran en la Tabla 1 (Bucur, 2006).

Tabla 1: Tipo de árboles con sus características geométricas y absorbentes.

Árbol	Altura (m)	Diámetro (mm)	Corteza (mm)	Rf(kg/m ³ s)
Junco/Caña	0.5-1	20-40	-	Rígido
Pino	10	170	14,2	9000
Alcornoque	7	120	7	30000
Masa arbórea	-	270	-	10000

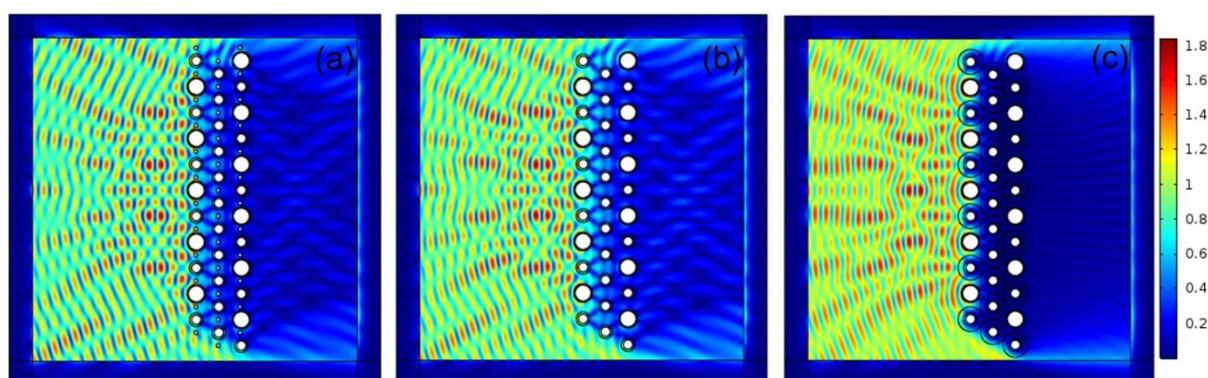
Los resultados del modelo numérico se muestran mediante mapas de presión absoluta (Pa) y espectros de atenuación acústica (dB) en función de la frecuencia (Hz) en banda fina. Para obtener el espectro de atenuación de ruido se evalúa la diferencia entre la presión sonora directa (p_d) e interferida (p_i) por medio del parámetro pérdida por inserción (Atenuación Acústica) en ese punto, mediante la expresión:

$$\text{Atenuación Acústica} = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{p_d}{p_i} \right| \text{ (dB)} \quad (2)$$

3. Resultados

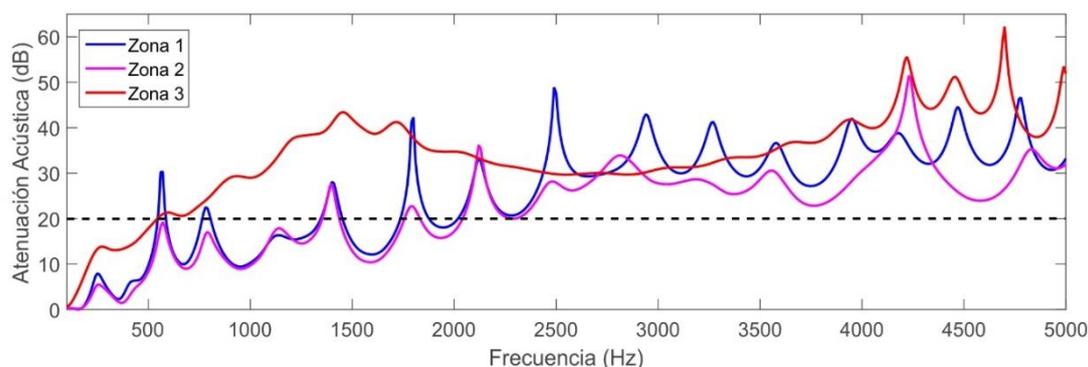
Como se ha comentado en la sección anterior, a partir del modelo numérico se obtienen mapas de presión y espectros de atenuación acústica. Así, en la figura 4, se muestran tres mapas de presión absoluta para la frecuencia 1500 Hz obtenido con la pantalla vegetal cuasi-fractal para las diferentes zonas de estudio. En los tres casos se observa una gran reducción del ruido.

Figura 4: Mapas de presión absoluta a 1500 Hz para las tres zonas de estudio: (a) Zona 1, integrada por Juncos/Cañas, troncos de Pino y Alcornoque; (b) Zona 2, troncos de Pino y Alcornoque; (c) Zona 3, troncos de Pino y Alcornoque más las copas de estos últimos.



Por otro lado, en la figura 5 se muestran superpuestos los tres espectros de atenuación acústica en decibelios en el rango de frecuencias de ruido de tráfico (0-5000 Hz) para las tres zonas de estudio. Se comprueba como existe una reducción considerable de ruido a partir de 500 Hz. La línea discontinua muestra como referencia una atenuación de 20 dB. Se observa que esta referencia se supera en un rango amplio de frecuencias.

Figura 5: Espectro de atenuación acústica en dB obtenido un punto centrado detrás de la pantalla vegetal. En línea azul Zona 1, Juncos/Cañas, troncos de Pino y Alcornoque; en línea de color magenta Zona 2, troncos de Pino y Alcornoque; y en línea de color rojo Zona 3, troncos de Pino y Alcornoque más las copas de estos últimos.



En cada una de las zonas se reduce de forma significativa el ruido y por lo tanto las distintas especies que habitan a ese nivel de altura se benefician de dicha reducción. Así los pequeños

insectos y mamíferos que habitan la zona 1, los grandes mamíferos que habitan la zona 2 y las aves sobre todo, e insectos voladores de la zona 3, pueden tener un confort acústico considerable, reduciendo su estrés y permitiendo así su estabilidad en beneficio de su reproducción.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta una pantalla vegetal, abierta, diseñada a partir de árboles dispuestos siguiendo ordenamientos fractales y que principalmente actúa como pantalla acústica. Además, tiene otros beneficios como contribuir a que la fauna, sobre todo de pequeño tamaño, tenga dificultad de atravesar vías concurridas de tránsito, evitar la acumulación de vegetación colindante a vías rodadas que presenten un gran poder combustible ante posibles negligencias humanas y la sustitución de quitamiedos metálicos de las vías rodadas por cinturones vegetales.

Se ha comprobado que los niveles de atenuación acústica son aceptables en el ámbito de dispositivos de protección contra el ruido. Falta concienciar a las autoridades de que la inversión en este tipo de estructuras puede hacer más sostenible el medio natural además de abaratar costes a largo plazo.

5. Referencias

- Alfonso, A.D.E. (2003). Contaminación acústica y salud Noise pollution and health. *Observatorio medioambiental*, 6, 73-95.
- Berenguer, J.P. (1994). A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *Journal of Computational Physics*, 114: 185-200.
- Boletín Oficial del Estado. (2003) BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2003-20976». s. f. Accedido 21 de febrero de 2018. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20976>.
- Bucur, V. (2007). *Urban forest acoustics*. Springer Science & Business Media.
- Buxton, R. T., McKenna, M.F., Mennitt, D., Fristrup, K., Crooks, K., Angeloni, L & Wittemyer, G. (2017). Noise pollution is pervasive in US protected areas. *Science*, 356, 531-533.
- Castiñeira-Ibáñez, S., Rubio, C., Romero-García, V., Sánchez-Pérez, J.V. & Garcia-Raffi, L.M. (2012). Design, manufacture and characterization of an acoustic barrier made of multi-phenomena cylindrical scatterers arranged in a fractal-based geometry. *Archives of Acoustics* 37(4), 455-462. <https://doi.org/10.2478/v10168-012-0057-9>
- Costello, R. A., & Laurel B. S. (2014). Effects of Anthropogenic Noise on Male Signalling Behaviour and Female Phonotaxis in *Oecanthus* Tree Crickets. *Animal Behaviour*, 95, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.009>.
- DE EUROPA, C. O. N. S. E. J. O. (2002). DIRECTIVA 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Des Aunay, G. H., Slabbekoorn, H., Nagle, L., Passas, F., Nicolas, P., & Draganoiu, T. I. (2014). Urban noise undermines female sexual preferences for low-frequency songs in domestic canaries. *Animal behaviour*, 87, 67-75.
- El turismo rural se consolida como alternativa al de masas (13 de noviembre de 2016). ABC página de economía. http://www.abc.es/economia/abci-turismo-rural-consolida-como-alternativa-masas-201611130245_noticia.html.
- Guzmán-Mendoza, R., Calzontzi-Marín, J., Darío Salas-Araiza, M.D., & Martínez-Yáñez, R. (2016). La riqueza biológica de los insectos: análisis de su importancia multidimensional. *Acta Zoológica Mexicana*, 32 (3): 370-79.

- Luther, D. & Magnotti, J. (2014). Can Animals Detect Differences in Vocalizations Adjusted for Anthropogenic Noise?. *Animal Behaviour*, 92, 111-16. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.03.033>
- Martínez-Sala, R., Rubio, C., García-Raffi, L.M., Sánchez-Pérez, J.V., Sánchez-Pérez, E.A., & Linares, J. (2006). Control of Noise by Trees Arranged like Sonic Crystals. *Journal of Sound and Vibration*, 291 (1-2): 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.05.030>
- McMullen, H., Schmidt, R., & Kunc, H. P. (2014). Anthropogenic noise affects vocal interactions. *Behavioural Processes*, 103, 125-128. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.12.001>.
- Ow, L. F., & Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.007>.
- Sánchez-Pérez, J.V., Rubio, C., Martínez-Sala, R., Sánchez-Grandia, R. & Gómez, V. (2002). Acoustic barriers based on periodic arrays of scatterers, *Applied Physics Letters*, 81, 5240-5242. <https://doi.org/10.1063/1.1533112>
- Schmidt, Rouven, Aoibheann Morrison, & Hansjoerg P. Kunc. 2014. Sexy Voices – No Choices: Male Song in Noise Fails to Attract Females. *Animal Behaviour*, 94, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.018>.
- Senanayake, I. K. G. A., Rupasinghe, H. T., & Halwatura, R. U. (2017, May). Mitigation of traffic induced carbon dioxide concentration through road-side greenery. In Engineering Research Conference (MERCCon), 2017 Moratuwa (pp. 337-342). IEEE. [10.1109/MERCCon.2017.7980506](https://doi.org/10.1109/MERCCon.2017.7980506)
- Van Renterghem, T., Attenborough, K., Maennel, M., Defrance, J., Horoshenkov, K., Kang, J. & Smyrnova, Y. (2014). Measured light vehicle noise reduction by hedges. *Applied Acoustics*, 78, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.10.011>