



Caracterización y evaluación de la afección acústica vehicular sobre una reserva natural protegida

Rafael Sánchez-Sánchez¹, J.C. Fortes-Garrido¹, Juan Pedro Bolívar²

¹ Departamento Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Universidad de Huelva, España
rafael.sanchez@dimme.uhu.es jcfortes@uhu.es

² Departamento de Física Aplicada, Universidad de Huelva, España
bolivar@uhu.es

Resumen

El sistema en estudio se denomina Reserva Natural de la Laguna del Portil (RNLP), y fue declarado Espacio Natural Protegido por la Junta de Andalucía (LEY 2/89, 1989) estableciendo su protección, bajo la figura legal de Reserva Natural. La RNLP es atravesada por su lado sur, por una carretera de carácter autonómico con alto flujo de tráfico, afectando a los paisajes sonoros de la reserva natural.

A través de este estudio, se analiza la afección que esta carretera introduce en los sonidos naturales de la RNLP. Este análisis se realiza en invierno y en verano, y además a través de dos metodologías independientes: Medidas de muestreo espacial en 43 puntos distintos de la RNLP; y generación de los mapas de ruido mediante software de predicción. De la comparación de los resultados de ambos métodos y temporadas se obtuvo: 1) Una aproximación al paisaje sonoro natural de la RNLP tanto en invierno cómo en verano. 2) La afección acústica que introduce la carretera en la RNLP. 3) La variación de la afección del ruido del tráfico, según la distancia a la carretera; y cómo esta afección influye de forma distinta en cada una de las estaciones.

Palabras-clave: instrucciones, formato, reglas, recomendaciones, no más de 5.

Abstract

The system under study is called Natural Reserve Laguna del Portil (NRLP), and was declared as protected natural area by the Junta de Andalucía (LEY 2/89, 1989), establishing its protection under the legal figure of Natural Reserve. The NRLP is crossed by its south side, along a road of regional character with high traffic intensity, affecting the soundscapes of the nature reserve.

Through this study, it analyzed road the affection is introduced into the natural sounds of the RNLP. This analysis is done in both winter and summer, and also by two independent methods: by measurements along a spatial sampling in 43 different points of the RNLP; and by generation of noise maps using prediction software. Comparison of the results of both methods and seasons was obtained: 1) An approach to the natural soundscape of RNLP both winter and summer. 2) The acoustic affection that introduces the road in the RNLP. 3) The variation of the traffic noise on the distance to the road, the differences between both seasons.

Keywords: natural sounds, soundscapes, noise.

PACS no. 43.50.Rq, 43.50.Lj



1 Introducción

Dentro de los Espacio Naturales Protegidos (ENP) existen sonidos naturales y no naturales. Los naturales generalmente se componen de dos categorías principales de sonidos: físicos y biológicos [1]. Los sonidos físicos son creados por las fuerzas físicas de la naturaleza (viento, lluvia, truenos, caída de rocas, ríos, olas, etc.), mientras que los sonidos biológicos son creados por los organismos vivos (pájaros, felinos, ciervos, ranas, plantas, etc.). La presencia y abundancia de los sonidos de estas dos categorías se utiliza, en parte, para caracterizar los diferentes hábitats.

Los sonidos naturales son elementos esenciales de los ENP, y por tanto necesarios para sus diversas funciones ecológicas, conformando estos lo que se denominan “paisajes sonoros naturales” (en inglés, “natural soundscapes”).

Los sonidos no naturales o antrópicos pueden tener diferentes fuentes, pero todos ellos se caracterizan por tener su origen en actividades humanas, y la mayoría de las veces son no deseados en determinadas áreas de los ENP. Las principales fuentes suelen ser carreteras, aeropuertos, actividades industriales, la cercanía de aglomeraciones o zonas turísticas, etc.

Cada vez más, los sonidos de origen natural están siendo enmascarados por una gran variedad de actividades antrópicas que generan ruidos que tiene un carácter intrusivo, incluso en algunos casos su injerencia es tan grande, que los sonidos naturales han desaparecido o no pueden manifestarse. Estos sonidos intrusivos, son un motivo de preocupación para los propios visitantes de los ENP. Una encuesta realizada por el Servicio Nacional de Parques (NPS) en Estados Unidos, reveló que el 91% de los visitantes van a los parques para disfrutar del paisaje sonoro y un 93% para verlo [2].

El objetivo de este estudio ha sido caracterizar el paisaje sonoro de un ENP, y analizar la influencia del tráfico rodado de una carretera que discurre paralela a uno de sus límites, teniendo así mismo en cuenta que el aforo de la carretera es muy variable entre la temporada invernal y la estival.

2 Materiales y metodología

2.1 Área de estudio

El ENP elegido para este estudio fue la Reserva Natural de la Laguna del Portil (RNLP), que fue declarada Espacio Natural Protegido por la Junta de Andalucía en la Ley 2/89 [3], estableciendo su protección, bajo la figura legal de Reserva Natural. Dotándola así mismo, de una zona de protección periférica de 1300 hectáreas, alrededor de la propia laguna litoral (Figura 1). Además, es una zona LIC (Lugar de Interés Comunitario), conforme a la Directiva 92/43/CEE, 1992 y del Consejo, de 21 de mayo de 1992 [4], relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y la flora silvestres.

La RNLP está constituida fundamentalmente por un bosque de pinos piñoneros (*Pinus pinea*) y algunos ejemplares de pino marítimo (*Pinus pinaster*), además de: sabinas (*Juniperus phoenicea subsp. Turbinata*), alcornoques (*Quercus suber*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*), etc. Y en ella habitan diversas aves que son el grupo mejor representado, siendo paso de algunas en su ruta migratoria, así como zona de invernación de otras: La espátula (*Platalea leucorodia*), Focha común (*Fulica atra*), Polla de agua (*Gallinula chloropus*), Calamón (*Porphyrio porphyrio*), agujas colinegras, ánades

silbones, patos cuchara, garzas reales, zampullín, cigüeñas blancas, garceta común, golondrinas, vencejo común, etc. Mámíferos: conejos, meloncillos, y erizos comunes. Así como diversos reptiles y anfibios, entre los que se encuentran: el camaleón, el lagarto, las ranas y el sapo común.



Figura 1.- Foto aérea de la Reserva Natural de la Laguna del Portil

Tal como se puede apreciar en la Figura 2, la RNLN está limitada en su frontera sur, por la carretera de carácter autonómico (código A-5052), de gran aforo de vehículos, que va desde los 4188 vehículos/día (de los cuales el 1.9 % son pesados) en invierno, hasta 12228 vehículos/día (de los cuales el 2.4 % son pesados) durante el verano (julio-agosto).



Figura 2.-Plano de situación de la Reserva Natural de la Laguna del Portil

2.2 Métodos de medida e instrumentación.

Para la consecución del objetivo planteado en este trabajo, se han seguido dos líneas metodológicas independientes: 1) Medidas de muestreo espacial en 43 puntos representativos de las áreas más sensibles de la RNLP. 2) Generación de los mapas de ruido mediante software de predicción.

2.2.1 Medidas de muestreo espacial.

El método de medida seguido, tanto en la temporada invernal como en la estival, se ajustó a las normas UNE-ISO 1996-1: 2005 [5] e UNE-ISO 1996-2:2009 [6]. Mientras que para seleccionar la muestra se ha utilizado la técnica del “grill” o retícula, superponiendo al área de muestreo, la RNLP, una retícula de dimensiones de 40 x 40 m sobre una base de fotografía aérea de la zona obtenida de Google Earth de tal manera que permitiera esparcir los puntos de medición del área de muestreo lo más homogéneamente posible [7], ver Figura 3.



Figura 3.- “Grill” de medidas puntuales en el área de la RNLP



Para el muestreo, se realizaron en total 43 medidas puntuales, tal como se indica en la Tabla 1. Todas las mediciones se desarrollaron durante el período de la tarde, con el fin de unificar un periodo determinado del día para todas las medidas puntuales. Cada una de las medidas individuales se realizó durante un periodo de 5 minutos, fundamentalmente porque ese periodo debe incluir la variabilidad intrínseca de las principales fuentes de ruido (sucesos de ruido de la carretera y de la vida silvestre), y por lo tanto que el LAeq, 5min sea representativo de LAeq, de la tarde en la RNLP. En este caso los eventos acústicos generados por las diferentes fuentes de ruido presentes, ya sean naturales o antrópicas, es de unos pocos segundos (paso de un vehículo por la carretera, canto de los pájaros, croar de ranas, etc.).

Temporada	Comienzo de medidas	Finalización de medidas
Invernal	07/04/2011 (19:52:00)	14/04/2011 (20:16:00)
Estival	09/08/2011 (19:32:00)	10/08/2011 (21:51:00)

Tabla 1. Periodos de muestreos espaciales en la RNLP

Para todas ellas se utilizó un sonómetro integrador-promediador (SLM) Clase 1 marca CESVA, modelo SC-20c, situado a 1.5 m de altura sobre el suelo. Además se se hizo uso de un calibrador (SLC), modelo CB-5 de CESVA, que es capaz de generar dos niveles de presión sonora, de 94.0 y 104.0 dBA. El SLM y SLC son calibrados anualmente por un laboratorio acreditado. Además, antes y al final de cada sesión de medidas, el sonómetro se verificó mediante el uso de la CB-5.

2.2.2 Generación de los mapas de ruido.

Para realizar los mapas de ruido se ha utilizado versión 3.5.115 de CadnaA, acreditado software de predicción, que utiliza en sus cálculos las directrices recogidas por diversas instituciones internacionales. En concreto para los ruidos de carretera sigue las normas de: NMPB-Routes-96 (Francia EC-Interim); RLS-90, VBUS (Alemania); DIN 18005 (Alemania); STL 86 (Suiza); CRTN (Reino Unido); etc.

Para modelizar el área de estudio, se siguieron las pautas de funcionamiento y uso que se esquematizan en la Figura 4. Para lo cual se tuvo que conseguir, a través de los diversos organismos y agentes especializados, la siguiente información y documentación: Cartografía (1/500); mapa topográfico; alturas de las edificaciones más próximas al área de estudio; valores climáticos medios; aforo de la carretera A-5052 en Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos; velocidad media de los vehículos; determinación del pavimento de la carretera; y realizar trabajos de campo para completar toda la información anterior.

Todo ello se introdujo en CadnaA, digitalizando la cartografía, la carretera A-5052 como fuente lineal de ruido, sus aforos, el perfil de la sección de la carretera, el tipo de pavimento, las velocidades medias de los vehículos, los semáforos, los acerados, las parcelas, las masas forestales y sus características.

Por último se definió y configuró el mallado de todo el área de estudio, con los puntos receptores en donde se calculan los niveles de inmisión para todos los parámetros, obteniéndose como resultado los mapas de líneas isófonas y los mapas de áreas de ruido o inmisión en los distintos periodos de la jornada. Situándose receptores individuales se consiguieron los datos de inmisión en los mismos puntos de la RNLP en donde realizaron las medidas de muestreo espacial.

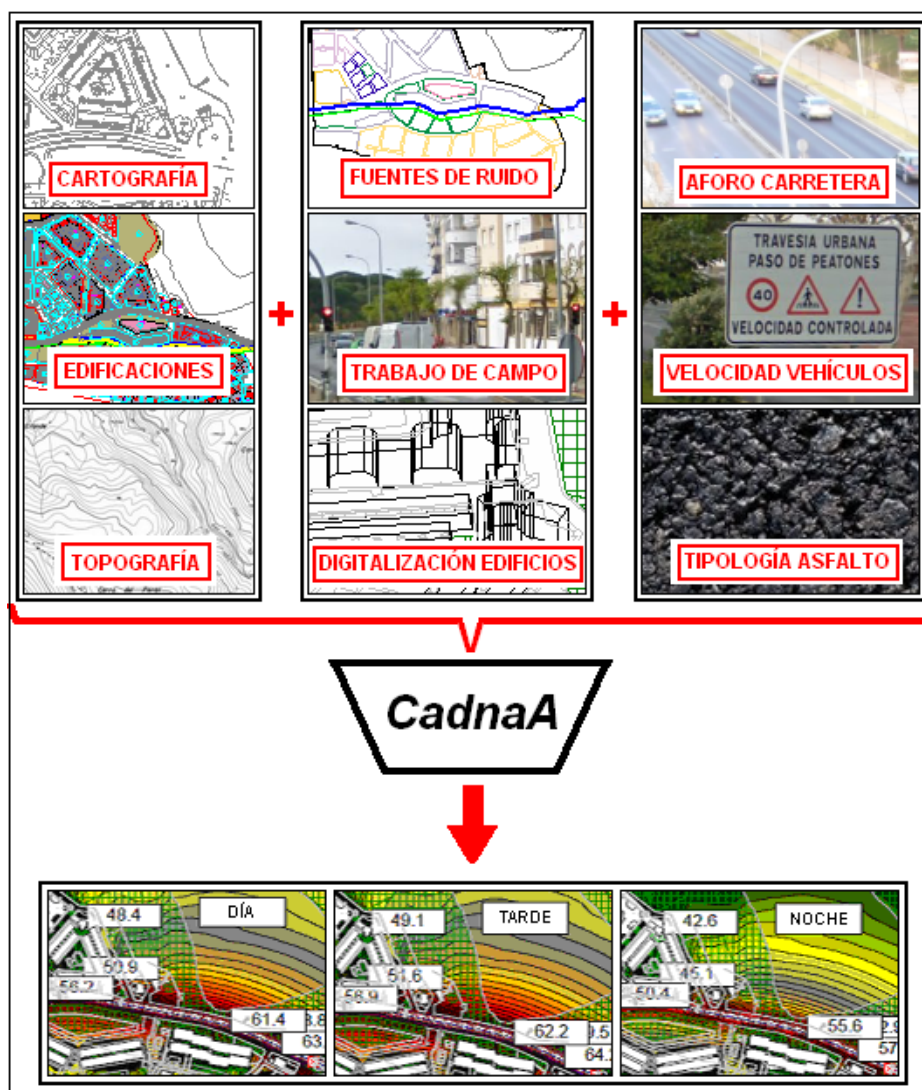


Figura 4.- Esquema de utilización de CadnaA

3 Resultados y discusión

3.1 Medidas de muestreo espacial

Dentro de la RNLP no existen fuentes de ruido antrópicas, ya que el vallado perimetral de la laguna impide cualquier visita no programada por los gestores de la reserva, y por tanto puede afirmarse que todas las fuentes son de origen natural [8], ya sean las meteorológicas o las debidas a la fauna. Además, debe tenerse en cuenta, que en la RNLP no existen barreras naturales (colinas, montañas, etc.), que impidan la propagación libre del sonido, ya que la masa forestal que la constituye, compuesta de arbustos y árboles de unos 7.0 m de altura, y con una densidad media de 0.04 pinos/m², apenas si ejercen atenuación al sonido [9].



En la siguiente Tabla 2 se incluyen los niveles de ruido medidos en los 43 puntos de muestreo espacial en la RNLP.

PUNTO	L _{Aeq,5m} (dBA)	L _{Aeq,5m} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,5m} (dBA)	L _{Aeq,5m} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,5m} (dBA)	L _{Aeq,5m} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,5m} (dBA)	L _{Aeq,5m} (dBA)
	INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO
1	46.3	51.1	12	42.4 (*)	36.4	23	31.8	37.5	34	37.7	49.2
2	41.0	49.2	13	30.3	34.1	24	33.1	38.4	35	38.5	47.7
3	37.5	44.6	14	30.7	34.3	25	34.6	39.8	36	39.1	47.3
4	33.6	41.7	15	29.3	34.6	26	35.1	40.4	37	40.2	48.8
5	36.1	42.2	16	29.1	34.1	27	34.6	44.5	38	43.7	49.8
6	32.9	37.3	17	28.9	34.4	28	33.6	41.8	39	44.5	50.3
7	31.8	36.4	18	28.7	33.9	29	34.9	42.7	40	46.2	53.4
8	32.5	35.9	19	30.5	34.9	30	35.1	43.8	41	49.7	61.6
9	37.9 (*)	38.7	20	31.6	35.7	31	32.1	44.7	42	49.9	65.9
10	29.7	35.2	21	31.2	38.0	32	31.9	45.2	43	51.1	63.9
11	29.6	34.8	22	31.5	36.8	33	33.8	45.9			

Tabla 2. Los niveles de ruido LAeq, 5m, medidos en los 43 puntos de muestreo. (*) Valores no considerados en los mapas de isolíneas, por las razones que se explican a lo largo del texto.

En la Tabla 2 se observa, como era de esperar, que los niveles de ruido en verano son superiores a los de inviernos en unos 5-6 dBA, lo cual probablemente sea debido a que la carretera en esta estación posee un flujo de tráfico mucho más alto. Por otro lado, estos niveles oscilan en verano entre unos 34 dBA y 66 dBA, mientras que en invierno lo hace entre los 29 y 51 dBA.

También se observan que los valores mínimos obtenidos durante los muestreos, oscilan entre los 29 y 34 dBA para el invierno y veranos respectivamente. Es evidente que estos valores se corresponden con los puntos de muestreo 16, 17 y 18, que son los que se encuentran más alejados tanto de la carretera como del núcleo de población de El Portil. Al tratarse de una reserva natural, estos valores están en perfecta consonancia con los valores obtenidos en evaluaciones realizadas en otros espacios naturales protegidos como en Lake Mead National Recreation Área de Nevada [10], o en el área rural de Lancara (Lugo) [11].

Utilizando estos valores de las mediciones LAeq, 5m en los 43 puntos de muestreo espacial, se obtuvieron dos mapas de isolíneas con las curvas de nivel, tanto en invierno como en verano (Figura 5). Hay que señalar que los puntos 9 y 12 dieron unos valores de LAeq, 5m significativamente mucho más altos que los obtenidos en los puntos adyacentes. Esto es achacable a la existencia de un ruido adicional presente durante el período de medición en el punto 9, debido a la existencia en esa zona de nidos de golondrinas (en temporada de apareamiento). Y en el punto 12 el nivel era atípico debido a la proximidad de un estanque con ranas. Mediante la aplicación estadística del test de Grubb se ha demostrado que estos dos puntos son valores atípicos (outliers) en relación con los puntos situados en su entorno, y por ello se han eliminado estos puntos en el cálculo de mapas de isolíneas.

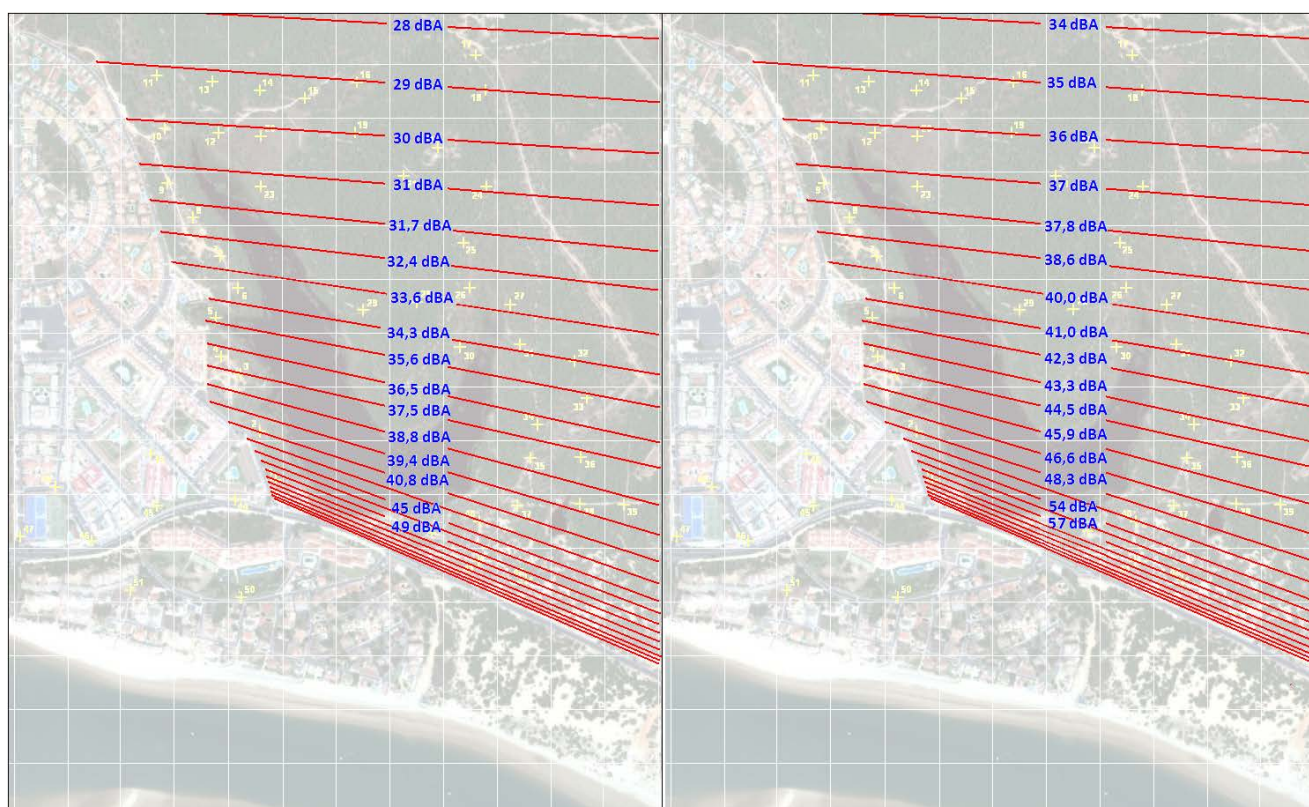


Figura 5.- Mapa de isóneas del LA_{eq} , 5m (a 1.5 m del suelo) en la RNLN. (a) invierno, (b) verano.

Se observa en la Figura 5 que las curvas de nivel son rectas prácticamente paralelas, ratificando que la principal fuente de ruido es la carretera A-5052. También se observa en esta figura que la densidad de curvas de nivel aumenta conforme disminuye la distancia a la carretera [12]. Por lo tanto, este hecho demuestra que el ruido se propaga perpendicularmente a la fuente lineal (la carretera). Al comparar el mapa de isóneas obtenidos para el invierno y el verano para cada uno de los puntos, se observa que hay unos 6 dBA más en verano que en el invierno.

Por otro lado, la Reserva Natural de la Laguna de El Portil (RNLN), de acuerdo con el Real Decreto español 1367/2007 [13], debe ser considerado como zona acústica del tipo "g", es decir, "zona natural que requiere especial protección contra la contaminación acústica". La única regulación encontrada para estas zonas en la legislación española, es la elaborada por el gobierno autonómico del País Vasco, cuyo objetivo de calidad acústica se establece en: $L_d = 60$, $L_e = 60$, y $L_n = 50$ dBA [14]. En algunas normativas regionales lo único que se indica es que los criterios de calidad acústica en espacios naturales se establecerán en función de los estudios específicos en dichas áreas.

Por tanto, cabe destacar que existe una banda de terreno paralela a la carretera de servidumbre acústica, en la que se supera dicho objetivo de calidad acústica (60 dBA) para las áreas naturales durante el periodo de tarde. En invierno, esta banda es prácticamente inexistente, serían los metros más próximos a la carretera; mientras que en verano el ancho de esa banda de terreno, aumenta hasta unos 25-30 m.

Los niveles de ruido de fondo existentes en la reserva natural pueden calcularse a partir del LA_{eq} ,5m medido en los puntos más alejados y por tanto menos influenciados por la carretera (zonas retiradas a

más de 1 km de ella), obteniéndose un valor medio alrededor de 30 y 35 dBA para el invierno y el verano, respectivamente.

En la Figura 6 se observa una clara variación del nivel de ruido con la distancia a la carretera, y relativamente lineal con el logaritmo de la distancia, lo cual indica que la carretera es la principal fuente sonora antrópica que afecta a la reserva natural. Se ha analizado la variación del $L_{Aeq,5m}$ en función del logaritmo de la distancia a la carretera, observándose una tendencia relativamente lineal. Los ajustes obtenidos fueron los siguientes:

$$\text{Invierno: } L_{Aeq,5m} = (68.9 \pm 2.6) - (13.1 \pm 1.1) \log(d) \quad (R^2 = 0.923; \text{ Standard error} = 2.2 \text{ dBA})$$

$$\text{Verano: } L_{Aeq,5m} = (80.4 \pm 4.3) - (14.9 \pm 1.7) \log(d) \quad (R^2 = 0.867; \text{ Standard error} = 3.6 \text{ dBA})$$

Las ecuaciones anteriores obtenidas a partir de las medidas están en total acuerdo con la expresión teórica del modelo propuesto en "Road Traffic Noise: Generation, Propagation and Control" [15], que nos da la siguiente ecuación para el cálculo del nivel de ruido, para una fuente lineal, en función de la distancia a ella:

$$L_{eq,T} = L_{0eq,T} - 10 \log(x^{1.3}) = L_{0eq,T} - 13 \cdot \log(x)$$

Donde $x = r/r_0$, siendo r la distancia a la carretera, y r_0 la distancia desde el punto de referencia donde $L_{0eq,T}$ ha sido medido, y que en nuestro caso sería 1 m.

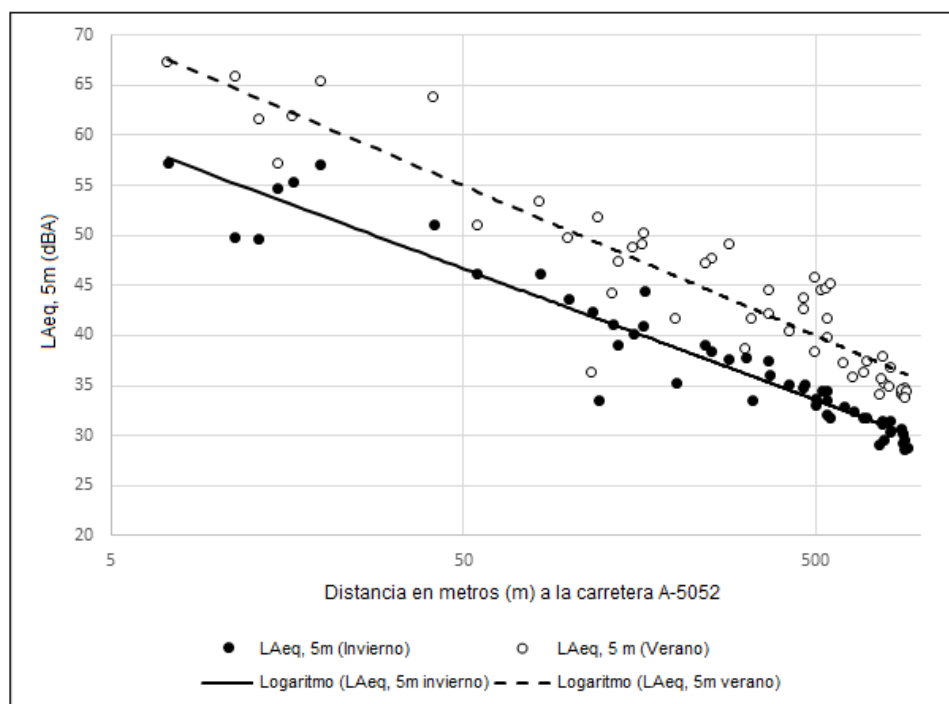


Figura 6.- Variación del nivel de ruido ($L_{Aeq, 5m}$) frente a la distancia a la carretera, a la cual se le ha añadido los ajustes lineales obtenidos con el logaritmo de la distancia, tanto para el invierno y el verano.

Este modelo indica que "por cada duplicación de la distancia se produce una atenuación por divergencia geométrica de aproximadamente 4 dBA". Además, como los ajustes obtenidos tienen

pendientes similares al modelo teórico de fuente lineal, se puede afirmar que la carretera A-5052 es la principal fuente de ruido en la RNLP.

Por otra parte, los valores obtenidos para R^2 y las incertidumbres de los parámetros (pendiente y ordenada en el origen), indican que las medidas del $LA_{eq,5m}$ se dispersan algo más en verano que en invierno. Esto puede explicarse si se tiene en cuenta que durante el verano hay más fuentes relevantes y antrópicas de ruido que en invierno, ya que durante el verano hay muchos eventos acústicos individuales procedentes de actividades recreativas humanas por parte de los visitantes de la reserva. En la Figura 6 también se observa que las pendientes de los dos ajustes lineales son muy similares, si se consideran las incertidumbres experimentales. De hecho, de la diferencia:

$$\Delta = LA_{eq,5m}(invierno) - LA_{eq,5m}(verano)$$

no está correlacionada con la distancia, dando la siguiente expresión para su ajuste por mínimos cuadrados:

$$\Delta = (14 \pm 3) - (3.0 \pm 1.1) \cdot \log(d) \quad (R^2 = 0.165; \text{Standard error} = 3.3 \text{ dBA})$$

Por lo tanto, se puede afirmar que el ruido en la reserva natural durante el verano es de 14 ± 3 dBA más alto que en el invierno, y este aumento proviene principalmente de la carretera que discurre paralela a su frontera sur.

3.2 Generación de los mapas de ruido

Mediante CadnaA se obtuvieron los mapas de ruido tanto en invierno como en verano de toda el área de estudio de la RNLP, y para cada periodo de la jornada. En concreto para el periodo de tarde (que es el periodo en el que se hicieron las mediciones de muestreo espacial), los mapas de ruido son los que se muestran en la Figura 7.

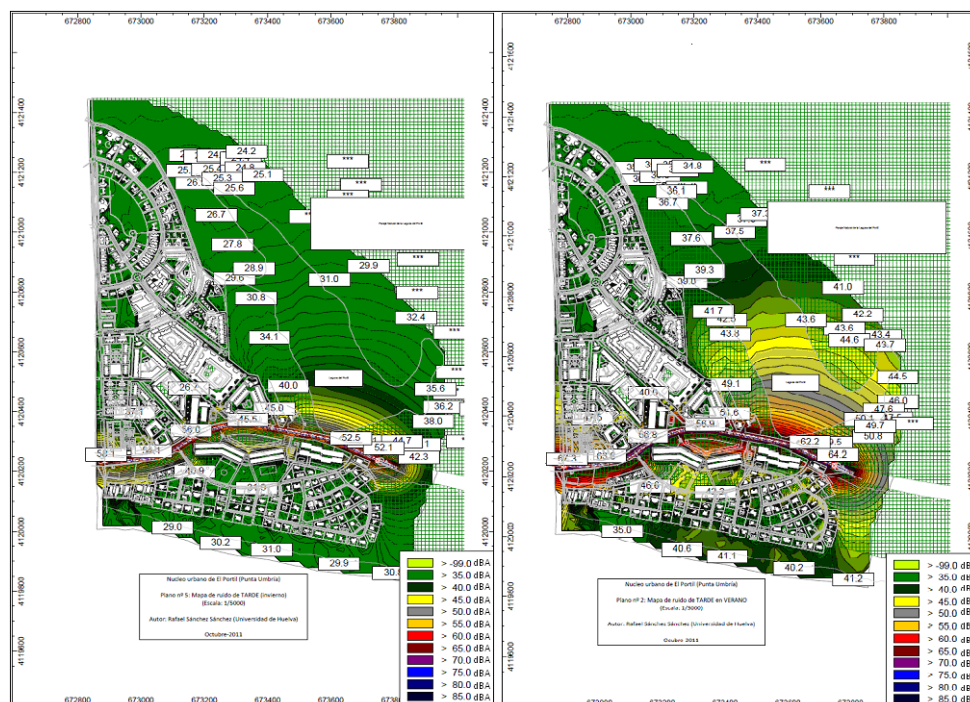


Figura 7.- Mapas de ruido (CadnaA), durante los periodos de tarde. (a) invierno, (b) verano.



A través de ellos se puede observar cómo durante el verano se intensifican los colores rojos y violáceos (60 y 65 dBA) alrededor de carretera, indicando con ellos que existen niveles acústicos más elevados durante la temporada estival que en la invernal.

Los niveles de ruido en verano son de aproximadamente 4.6 dBA más altos que en el invierno en los puntos más cercanos a la carretera A-5052, para cualquier periodo de la jornada. Mientras que se aumenta a unos 6.0 dBA en los puntos más alejados de la carretera A-5052. Este hecho puede explicarse teniendo en cuenta igualmente, que en el modelo CadnaA sólo se ha incluido la carretera A-5052 como fuentes lineales de ruido, y los aforos son mucho más altos en verano que en invierno. Además, estos resultados están de acuerdo con los descritos en "Road Traffic Noise: Generation, Propagation and Control" [15], donde se indica que el nivel de ruido de una carretera está dado por la ecuación:

$Leq = L_0 + 10 \cdot \log(Q)$ Siendo: Q el flujo de tráfico ($\text{veh} \cdot \text{h}^{-1}$) y L_0 el nivel de referencia para $Q = 1 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$. Por tanto la diferencia de niveles entre el verano y el invierno: $[Leq(v) - Leq(i)]$ vendrá dada por: $Leq(v) - Leq(i) = 10 \cdot \log(Q_v / Q_i) = 10 \cdot \log(509.7 / 174.4) = 4.65 \text{ dBA}$, valor prácticamente coincidente con la diferencia detectada mediante el modelo. Siendo 509.7 y 174.4 los valores de los vehículos por hora que circulan por la carretera A-5052 en verano e invierno respectivamente, según los datos oficiales de la Consejería de Fomento y Vivienda.

Para cuantificar los niveles previstos por el modelo, se situaron receptores individuales en las mismas coordenadas de los 43 puntos en donde se llevó a efecto el muestreo espacial, obteniéndose los valores predichos en esos mismos puntos por el modelo CadnaA. De la lectura en los mapas, sobre dichos receptores, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.

PUNTO	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} (dBA)	PUNTO	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} (dBA)
	INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO		INVIERNO	VERANO
1	49.8	58.6	12	29.6	35.0	23	30.3	35.9	34	40.1	47.5
2	46.2	58.1	13	29.1	34.7	24	30.1	35.7	35	40.5	48.3
3	38.1	46.2	14	28.9	34.5	25	33.5	38.2	36	42.8	48.8
4	36.7	44.9	15	29.0	34.3	26	36.6	39.3	37	44.0	49.3
5	35.2	42.6	16	28.9	34.1	27	37.4	43.1	38	44.7	49.2
6	33.0	39.4	17	28.7	33.6	28	36.6	42.0	39	44.5	49.1
7	32.0	38.4	18	29.4	33.9	29	37.5	43.0	40	46.2	51.4
8	31.2	37.6	19	29.7	34.0	30	38.7	44.0	41	49.6	54.6
9	30.5	36.6	20	29.9	35.3	31	38.9	44.8	42	51.9	56.6
10	29.9	35.7	21	30.7	35.5	32	39.1	44.9	43	59.2	63.9
11	29.2	35.0	22	33.2	35.1	33	40.2	46.8			

Tabla 3.- Valores de los niveles de ruido L_{Aeq} , previstos por CadnaA en los 43 puntos de muestreo.

3.3 Comparación de valores experimentales con los obtenidos con Cadna

Con el fin de contrastar los resultados obtenidos experimentalmente en el muestreo espacial con los resultados de la modelización mediante CadnaA, se procedió a realizar una comparación directa entre ambos métodos. De esta comparación directa, entre los datos de la Tabla 2 y los de la Tabla 3 en cada

uno de los 43 puntos de medidad, se obtuvieron las gráficas que se muestran en las Figuras 8 y 9, la primera para invierno y la segunda para el verano.

Cuyas ecuaciones de ajuste son respectivamente:

$$\text{Invierno: } Leq(\text{mapas}) = (1.15 \pm 0.06) \cdot Leq(\text{muestreo}) - (4.1 \pm 2.3) \\ (R^2 = 0.8915; \text{ error estándar} = 1.1 \text{ dBA})$$

$$\text{Verano: } Leq(\text{mapas}) = (0.97 \pm 0.05) \cdot Leq(\text{muestreo}) + (1.4 \pm 2.1) \\ (R^2 = 0.9037; \text{ error estándar} = 1.0 \text{ dBA}).$$

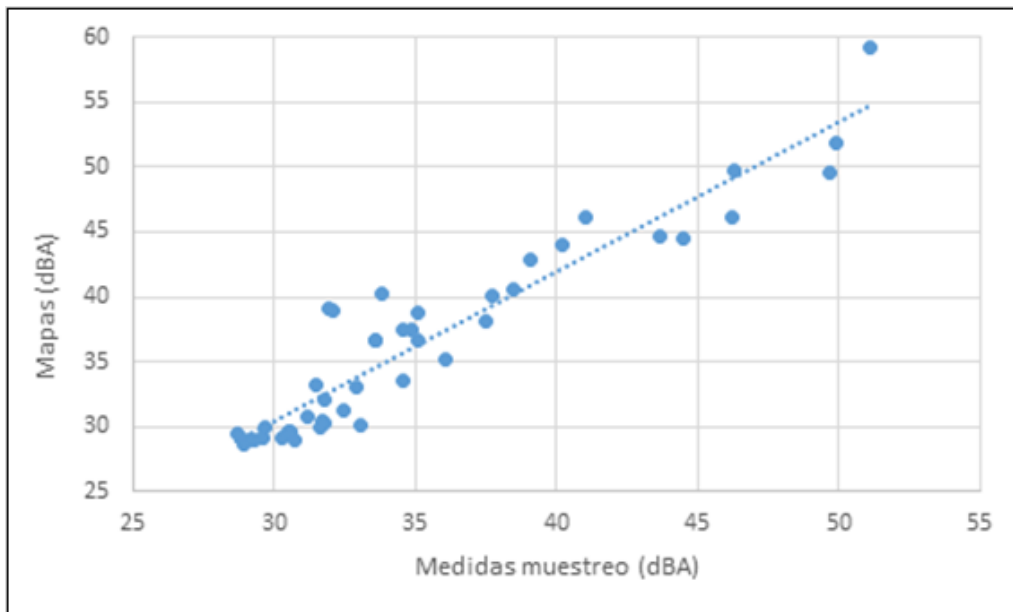


Figura 8.- RNLP Comparativa muestreos vs mapas de ruido (invierno)

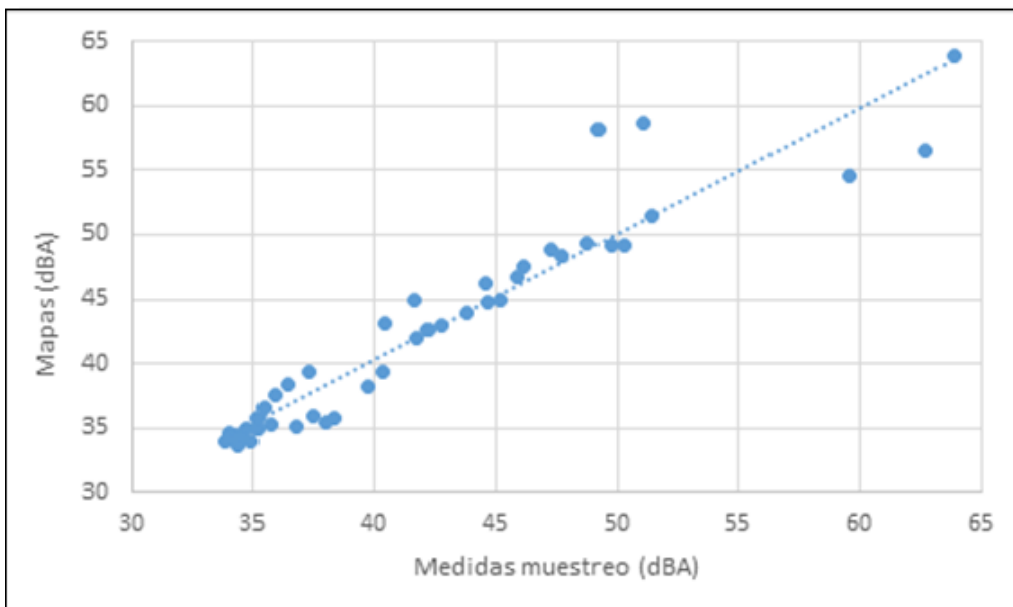


Figura 9.- RNLP Comparativa muestreos vs mapas de ruido (verano)



A la vista de las anteriores figuras, y de los valores de R^2 , se deduce que el ajuste en el verano es un poco mejor que en invierno. Esto podría ser debido a que el menor ruido producido por la carretera en invierno (aproximadamente una reducción de 9 dBA), conllevaría a que los niveles de fondo, así como la variabilidad temporal de este, tendría más peso en el nivel total.

4 Conclusiones

Este artículo presenta la caracterización y evaluación de la contaminación acústica en un Espacio Natural Protegido, ubicado en el sudoeste de España, denominado Reserva Natural de la Laguna del Portil, con el objetivo de mejorar la gestión de la contaminación acústica aplicada por las autoridades competentes.

Las principales conclusiones a las que se ha llegado son:

- La carretera A-5052 es la principal fuente antrópica de contaminación acústica de la RNLP, generando en verano un nivel continuo equivalente de unos 4-5 dBA mayor que en invierno.
- Los niveles de fondo existentes en la RNLP durante los períodos de tarde alcanzan los 30 y 35 dBA para el invierno y el verano, respectivamente.
- La RNLP se encuentra muy cerca de la carretera A-5052, y por lo tanto, una parte importante de ella, en verano presenta niveles de ruido superiores a los umbrales recomendados para las áreas naturales, en el Decreto 213 de 2012 [14].
- Se ha encontrado que la variación del nivel de ruido con la distancia a la carretera sigue una función logarítmica, lo cual está en consonancia con lo esperable teóricamente para una fuente lineal de ruido. Se ha obtenido que, dentro de la RNLP, por cada duplicación de la distancia a la carretera se produce una atenuación de aproximadamente 4 dBA.
- Que en ciertos habitats de la RNLP, se generan niveles acústicos muy superiores a otros habitats dentro de la reserva, en función de la estación, de la fauna, y de la actividad de ésta.
- Que en la temporada estival en la RNLP hay un incremento de aproximadamente 9 dBA con respecto a la invernada en los niveles de ruido equivalente, debido fundamentalmente al aumento del tráfico rodado que se produce en la carretera A-5052 durante el verano como consecuencia del turismo. Una diferencia similar se obtiene con el modelo Cadna cuando se calcula esta diferencia a partir de los valores experimentales de los flujos de tráfico.

Referencias

- [1] Director's Order #47: Soundscape Preservation and Noise Management December 1. 2004.
- [2] Skip Ambrose; Shan Burson. Soundscape Studies in National Parks, *The George Wright FORUM*; Vol 21 (1) 2004, pp 29-38.
- [3] Ley 2/89 de 18 de julio. Por la que se aprueba el inventario de espacios naturales protegidos de Andalucía, y se establecen medidas adicionales para su protección. BOJA 60/1989.



- [4] Directiva 92/43/CEE, 1992 y del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y la flora silvestres. Diario Oficial de las Comunidades Europeas N° L206/7.
- [5] UNE-ISO 1996-1:2005: *Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y método de evaluación*. Madrid, 2005.
- [6] UNE-ISO 1996-2:2009: *Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental*. Madrid, 2009.
- [7] Gómez Escobar V.; Barrigón Morilla JM.; Rey Gonzalo G.; Vilchez Gómez R.; Carmona del Rio J.; Méndez Sierra JA. Analysis of the Grid Sampling Method for Noise Mapping. *Archives of Acoustics*. Vol. 37 (4), pp. 499–514, 2012.
- [8] Barber JR.; Burdett CI.; Redd SE.; Warner KA.; Formichella C.; Crooks KR.; Theobald DM.; Fristruo KM. Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape Ecol. - Fort Collins*: Springer Science+Business Media, 2011.
- [9] Tarrero AI. Propagación del sonido en bosques. Análisis comparativo de las medidas un situ, en laboratorio, y de los valores predichos por un modelo. - *Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid*: [s.n.], 2002.
- [10] Briggs J.; Rinella J.; Marin L. Using acoustical data to manage for solitude in wilderness areas. *Parck Science*. Vol. 28 (3) 2011.
- [11] López L.; Díaz ER.; Marey MF. Desarrollo y validación de una metodología para la planificación acústica en áreas rurales [Conference]. - 2012. - pp. *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia, 11-13 de julio*.
- [12] Sanchez-Sanchez R.; Fortes-Garrido JC.; Bolivar Raya JP. Characterization and evaluation of noise pollution in a tourist coastal town with an adjacent nature reserve. *Applied Acoustic*. Vol. 95, 2015, pp 70–76.
- [13] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. BOE N° 254.
- [14] Decreto 213 de 16 de octubre, de contaminación acústica de la Comunidad Autónoma del País Vasco. BOPV n° 222/2012.
- [15] Lamure C. *Noise Pollution, Chapt. 12: Road Traffic Noise: Generation, Propagation and Control* [Book Section]. John Wiley & Sons Ltd., 1986.