

ESTIMACIÓN DE LA AFECCIÓN POR RUIDO DE CARRETEAS EN LOS ESPACIOS DE LA RED NATURA 2000 EN LA ESPAÑA PENINSULAR, Y DETERMINACIÓN PRELIMINAR DE SUPERFICIES CON POTENCIAL PARA LA DECLARACIÓN DE RESERVAS DE SONIDOS DE ORIGEN NATURAL

Ignacio Soto Molina^{1,2*}
Rosa María Arce Ruiz²

¹Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA-CEDEX), Madrid, España

²Centro de Investigación del Transporte, TRANSYT, Universidad Politécnica de Madrid, España

RESUMEN

El informe (EEA 22/2019) de ruido ambiental en Europa, destaca que “(...) se estima que alrededor del 19 % de los espacios Natura 2000 se encuentran en zonas consideradas ruidosas. Por lo tanto, vale la pena considerar la preservación de las condiciones acústicas naturales para limitar la pérdida de biodiversidad.” Esta estimación se realiza a partir del índice “*Quietness Suitability Index*”, mediante algoritmos de proximidad a las fuentes de ruido.

En este trabajo se estima la afECCIÓN potencial por ruido en la RN2000 de la España peninsular, mediante un modelo de ruido a gran escala, considerando el ruido viario, principal fuente de ruido en el ámbito de END. Se estiman las superficies RN2000 potencialmente afectadas y su nivel de ruido.

Supone un primer paso en la identificación Reservas de Sonidos de Origen Natural, que, de acuerdo con la Ley del Ruido española, corresponden con “zonas en las que la contaminación acústica producida por la actividad humana no perturbe dichos sonidos”. Se discute también la conveniencia de la zonificación de estos espacios como áreas acústicas “tipo g”.

La definición y protección de estas zonas puede contribuir al cumplimiento de los objetivos de las Estrategias de Biodiversidad, europea y española.

Palabras Clave— Modelización de ruido, CNOSSOS-EU, espacios protegidos, reservas de sonidos de origen natural.

ABSTRACT

The report (EEA 22/2019) on environmental noise in Europe highlights that “(...) it is estimated that around 19% of Natura 2000 spaces are located in areas considered noisy. Therefore, it is worth considering the preservation of natural acoustic conditions to limit biodiversity loss.” This estimate is made from the “*Quietness Suitability Index*”, using proximity algorithms to noise sources.

In this work, the potential effect of noise in the RN2000 of mainland Spain is estimated, using a large-scale noise model, considering road noise, the main source of noise in the field of END. The potentially affected RN2000 surfaces and their noise level are estimated.

It is a first step in the identification of Reserves of Natural Origin Sounds, which, according to the Spanish Noise Law, correspond to “areas in which noise pollution produced by human activity does not disturb said sounds”. The convenience of zoning protected areas as “type g” acoustic areas (areas requiring special protection against noise) is also discussed.

The definition and protection of these areas can contribute to the fulfillment of the objectives of the European and Spanish Biodiversity Strategies.

Keywords— Noise modelling, CNOSSOS-EU, protected areas, reserves of natural origin sounds.

* **Autor de contacto:** ignacio.soto@cedex.es

Copyright: ©2023 Soto-Molina et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. INTRODUCCIÓN

El ruido, entendido como un sonido no deseado de origen antrópico, y que genera una molestia o perturbación en los seres humanos [1], es también una fuente de impacto en los ecosistemas naturales y, particularmente, en la fauna [2].

La Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (en adelante END), tiene por objeto “establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental”.

Su ámbito de aplicación incluye únicamente “el ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos (...)”.

Sin embargo, la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), contempla los efectos del ruido en el medio natural, en los informes quinquenales a que se refiere el Artículo 11 de la END. Así, en el informe EEA 2020/229 de ruido ambiental en Europa [3], se refiere a los efectos del ruido en la vida silvestre, dedicando su capítulo 5 a los impactos sobre la biodiversidad, indicando que “(...) se estima que alrededor del 19 % de los espacios Natura 2000 se encuentran en zonas consideradas ruidosas. Por lo tanto, vale la pena considerar la preservación de las condiciones acústicas naturales para limitar la pérdida de biodiversidad.”

Esta estimación se ha realizado considerando aquellas áreas que presentan un QSI (Quietness Suitability Index, traducido como “Índice potencial de zonas tranquilas”) inferior a 50 [4], [5], siendo cero el nivel más bajo de calidad, y 100 el más alto posible. En algunos documentos el índice QSI se expresa de 0 a 1.

END se traspone y desarrolla en el Reino de España a través de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (en adelante LR), cuyo objeto y finalidad es “prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de ésta pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente”, y por el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, que desarrolla la LR.

La LR incluye en su ámbito de aplicación la prevención, vigilancia y reducción de la contaminación acústica en las áreas naturales sensibles al ruido, mediante dos figuras:

1. Áreas acústicas tipo “g” (en adelante AG) definidas como “Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica”.

2. Reservas de sonidos de origen natural (en adelante RSON), que incluye aquellas zonas naturales donde “la contaminación acústica producida por la actividad humana no perturbe dichos sonidos”.

La competencia para determinar qué espacios requieren una protección especial contra la contaminación acústica (AG), o deben ser objeto de reserva para la preservación de los sonidos de origen natural (RSON) es, en la mayoría de los casos, de las comunidades autónomas, a iniciativa de los gestores de dichos espacios, caso por caso, si bien, las

autoridades competentes para elaborar los mapas de ruido y planes de acción deben contemplarlos.

En España, estas dos figuras de protección del medio natural frente al ruido no han sido desarrolladas, y cuentan con una legislación básica poco precisa. El resultado es que no están siendo convenientemente implementadas ni en la planificación territorial y urbanística ni en los instrumentos que la LR prevé para gestionar la contaminación acústica, siendo necesario un desarrollo mayor [6], [7].

Ambas figuras (AG y RSON) implican un intento de proteger las zonas naturales del ruido, desde diferentes enfoques.

Las AG forman parte de la zonificación acústica, que deben realizar las administraciones competentes. Su designación implica el establecimiento de objetivos de calidad acústica (en adelante OCAs) y, en su caso, de medidas en los Planes de Acción contra el Ruido (PAR), cuando se detecte un conflicto acústico.

Desde el punto de vista de la normativa vigente, los OCA para las AG no se fijan de manera genérica (tabla A del Anexo II del RD1367/2007). Deberían fijarse cuando “requieran una especial protección contra la contaminación acústica” (art.7.1.g de la LR), teniendo en cuenta “la sensibilidad de la fauna y de sus hábitats” (art.8.2 de la LR), y “se establecerán para cada caso en particular, atendiendo a aquellas necesidades específicas de los mismos que justifiquen su calificación” (art.14.3 del RD 1367/2007).

La superación de los OCAs en cualquier área acústica se tiene en cuenta en la definición de las medidas y acciones prioritarias a desarrollar en los Planes de Acción (art.10 del RD 1513/2005), y las administraciones competentes podrían emplear las herramientas disponibles en la regulación para conducir los niveles sonoros hacia los objetivos de calidad acústica (Capítulo III de LR).

En el caso de las RSON, se pretende proteger el sonido natural en ellas presente, no perturbado por la acción humana. No implica el establecimiento de OCAs sino, en su caso, de evitar o reducir el efecto perturbador que el ruido antrópico tiene en las condiciones sonoras naturales, es decir, en su paisaje sonoro [8].

A su vez existe una relación evidente entre AG y RSON. Las RSON deberían ser consideradas como áreas que requieren protección especial frente al ruido (AG), ya que se trataría de zonas que conservan una calidad acústica alta, que debe ser preservada.

Por su parte, las AG no tienen por qué ser consideradas RSON, si bien su OCA puede ser alcanzar una calidad acústica próxima a la que tendría una RSON o, al menos, no empeorar la calidad acústica existente.

Por lo tanto, existen varias cuestiones a las que debe darse respuesta. Por ejemplo, ¿qué zonas deben considerarse AG?, ¿qué zonas deben considerarse RSON?, ¿qué criterios se deben aplicar?.

Diferentes autores proponen criterios para la designación de estas figuras de protección [6], [7], [9]–[11].

Deberían ser consideradas AG, aquellas áreas naturales, en particular los espacios protegidos, en las que la calidad ambiental dependa, al menos en parte, de la calidad acústica.

En cuanto al establecimiento de OCAs de las AG, el criterio técnico más aceptado es la asignación en función de la sensibilidad de los receptores presentes, en particular los diferentes grupos de fauna, ya que la fauna, tanto terrestre [12]–[14] como marina [15], es el elemento o factor natural que, de forma más evidente, se ve afectado por el ruido.

El OCA de las AG, para nivel de ruido aportado por la actividad humana podría proponerse, no como un valor absoluto (40 dBA p.e.), sino como un valor relativo. Por ejemplo, no incrementar en más de 6 dBA el nivel de fondo en condiciones naturales. Este es el enfoque que propone la *Ley 16/2002 de protección contra la contaminación acústica de Cataluña*², aunque esta Ley lo aplica a las “Zona d'especial protecció de la qualitat acústica”, que se corresponderían con las AG de la LR.

En el caso de las RSON los criterios son más dispares y tienden a confundirse con las AG, mediante la asignación de OCAs. La LR es clara en este aspecto indicando que “*podrán establecerse planes de conservación de las condiciones acústicas de tales zonas o adoptarse medidas dirigidas a posibilitar la percepción de aquellos sonidos*”. En ningún caso se habla de OCAs para las RSON.

En este sentido, las RSON deberían declararse cuando exista la evidencia de zonas prístinas en cuanto a la contaminación acústica, es decir, no perturbadas por sonidos de origen antrópico.

Este enfoque, aunque en distinto ámbito, es el aplicado, por ejemplo, por la legislación de aguas³ para la declaración de las Reservas Naturales Hidrológicas, que corresponden a “*determinados ríos, tramos de ríos, acuíferos o masas de agua para su conservación en estado natural*”.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

- Avanzar en el desarrollo de una metodología adecuada para la evaluación del ruido a gran escala en espacios protegidos.
- Evaluar, de forma preliminar, el efecto del ruido ambiental en los espacios de la Red Natura 2000.
- Discutir la necesidad de desarrollar los instrumentos (AG y RSON) que la LR prevé para la protección frente al ruido de los espacios protegidos.
- Realizar una primera identificación de zonas susceptibles de ser consideradas RSON.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio seleccionado, para esta primera aproximación, es la España peninsular, y los espacios de la Red Natura 2000 terrestres en ella presentes.

3.2. Software

Se utiliza el software Noise Modelling [16] (en adelante NM). NM es una herramienta gratuita y de código abierto diseñada para producir mapas de ruido ambiental en áreas urbanas, así como carreteras, ferrocarriles y mapas de fuentes industriales.

Tal como se indica en su sitio Web oficial⁴, puede ser utilizado libremente para investigación, educación o por expertos en un uso profesional.

NM se ha utilizado en diferentes ámbitos académicos e institucionales [17]. Destaca la realización de los mapas estratégicos de ruido de carreteras del Gobierno francés [18], correspondientes a la Cuarta Fase de END, mediante la creación de una base de datos nacional, que alimenta el software NM, y que permite la actualización periódica de dichos mapas [19].

La versión de NM utilizada en este estudio ha sido la 4.0.3. De acuerdo a los desarrolladores, este software cumple con las comprobaciones de la norma ISO 17534-4:2020⁵, para la aplicación del método CNOSSOS-EU.

3.3. Elaboración del mapa de ruido

En la elaboración del mapa de ruido se ha recurrido a las siguientes fuentes de datos:

- Cartografía de aforos de carreteras de la Dirección General de Carreteras del MITMA del año 2019 [20].
- Cartografía de carreteras de la Base Topográfica Nacional 1:100.000 (BTN100) y Modelo Digital del Terreno 200x200 (MDT200) del Centro Nacional de Información Geográfica [21].

Las carreteras consideradas, además de las correspondientes a la Red de Carreteras del Estado, son las clasificadas como autovías, autopistas, carreteras principales, secundarias y terciarias en la cartografía BTN100.

La asignación de tráfico a las carreteras de las que no se dispone de datos se ha realizado de acuerdo a las recomendaciones de la guía “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*” [22].

La malla de receptores se ha obtenido mediante una cuadrícula regular de 200x200 metros. Previamente a la

² <https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/l/2002/06/28/16>

³ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-13042&p=20150721&tn=1#a25>

⁴ <https://noisemodelling.readthedocs.io/en/latest/index.html>

⁵ <https://noisemodelling.readthedocs.io/en/latest/Validation.html>

selección de este tamaño de cuadrícula se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad mediante cálculos en zona experimental.

En dicho análisis se evaluaron los resultados obtenidos con cuadrícula de 50x50, 100x100 y 200x200 metros, llegando a la conclusión de que, si bien al incrementar el tamaño de la cuadrícula se pierde resolución, el límite de las isófonas, cada 5 dB(A), permanece sensiblemente constante, a la escala de estudio. La cuadrícula de 200x200m permite reducir el tiempo de cálculo del modelo, con suficiente resolución para el objeto de este trabajo.

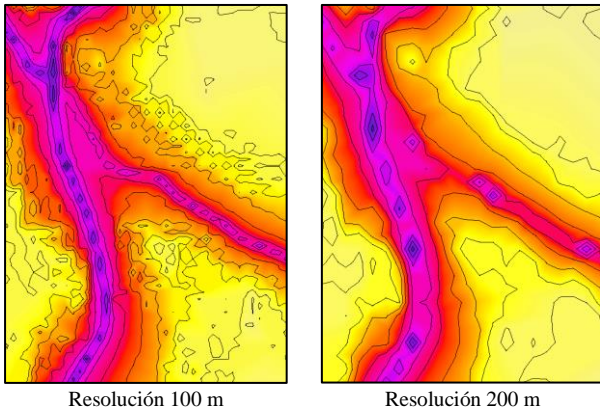


Figura 1: Comparación de resultados del mapa de ruido con diferentes resoluciones de mallado.

La distancia máxima entre receptor y fuente considerada es de 15 km. En este aspecto, existe controversia sobre cuál es la distancia máxima a la fuente que se puede considerar válida en la aplicación del método CNOSSOS-EU.

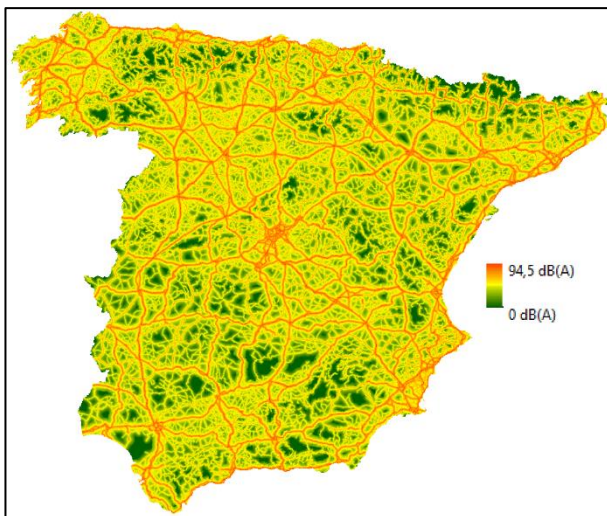


Figura 2: Mapa de niveles Lden dB(A)

En el documento de Stylianos Kephelopoulos *et al.*, 2012 [23] se indica una distancia inferior a 800 metros. No obstante, con posterioridad a dicha publicación, el método

CNOSSOS-EU ha sido corregido [24], el método de propagación se basa en la norma ISO 9613-2:1996 [25], [26], que no establece límite de distancia, y los softwares de ruido permiten la modificación de la distancia máxima fuente-receptor estableciendo, algunos de ellos, distancias por defecto de hasta 3 km.

Se considera que, al estar fundamentado el método de propagación en una divergencia esférica, y atenuaciones y correcciones debidas a condiciones atmosféricas y ambientales, es adecuado para el objeto de este estudio.

No obstante, este extremo, en distancias tan elevadas como las consideradas aquí, debería evaluarse con más detenimiento, incluso con la realización de mediciones, o comparación con otros métodos de cálculo comúnmente aceptados.

3.4. Espacios protegidos

La cartografía de espacios de la Red Natura 2000 (en adelante RN2000) se obtiene de la Infraestructura de Datos Espaciales del MITECO [27].

En dicha cartografía se distinguen tres tipos de superficies (LIC, ZEPA y LIC+ZEPA). Se ha procedido a la disolución de todas las superficies en un solo polígono, de forma que se obtiene la superficie Red Natura 2000 total en el ámbito de estudio.

3.5. Umbrales considerados

Para la determinación de los umbrales y rangos de estudio de este trabajo, se han considerado los criterios que se exponen a continuación.

La identificación de las potenciales RSON, se ha realizado mediante selección aquellas zonas con valores nulos de ruido provocado por infraestructuras viarias, de acuerdo al modelo calculado.

Para la determinación de los rangos de afección en el resto de superficies se consideran los rangos <15 dB(A), 15-35 dB(A) y >35 dB(A) obtenidos de Soto-Molina *et al.*, 2022 [11].

Además, se considera el rango >55dB(A) para mantener la coherencia con el informe EEA Report No 22/2019 [3] de la Agencia Europea del Medio Ambiente. Este umbral es considerado como “ruidoso”, y se relaciona con un valor de QSI <0,5.

Por tanto, los umbrales considerados son:

- Ausencia de ruido (0 dBA): áreas susceptibles de ser declaradas RSON
- Rangos de afección por ruido a espacios protegidos de la Red Natura 2000 (candidatos a AG):
 - o <15 dB(A)
 - o 15-35 dB(A)
 - o 35-55 dB(A)
 - o >55 dB(A)

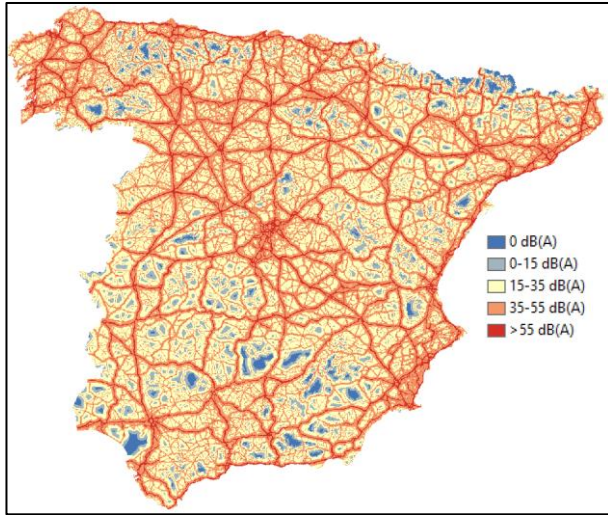


Figura 3: Mapa de umbrales considerados

3.6. Evaluación de resultados

Se han obtenido los siguientes aspectos:

- Nivel de ruido en la España peninsular
- Nivel de ruido en espacios Red Natura 2000
- Superficies susceptibles de ser declaradas RSON

4. RESULTADOS

4.1. Nivel de ruido en la España peninsular

La tabla nº1 muestra el nivel de ruido teórico, aportado por las infraestructuras viarias consideradas que, de acuerdo al modelo generado, existe en la España peninsular.

Tabla 1: Niveles de ruido en la España peninsular

Estadístico	dB (A)
Máximo	94,50
Mínimo	0,00
Media	35,47
Desviación STD	14,33

En la tabla nº2 se clasifican los datos de la tabla anterior en función de los rangos de ruido considerados, aportando información sobre la proporción de superficie afectada en cada rango.

Tabla 2: Afección por ruido de carreteras en la España peninsular

Rango	Superficie (miles Ha)	Superficie (%)
0 dB(A)	801,72	1,62%
0-15 dB(A)	3.022,47	6,12%
15-35 dB(A)	19.957,94	40,43%
35-55 dB(A)	20.944,75	42,43%
>55 dB(A)	4.641,73	9,40%
TOTAL	49.368,61	100%

Las superficies sin perturbación potencial por ruido viario son escasas, con un 7,7% de la España peninsular por debajo de 15 dB(A) de ruido de carreteras.

La superficie afectada por niveles de ruido entre 15 y 55 dB(A) es del 82,85%.

La superficie afectada por más de 55 dB(A), límite considerado como ruidoso para la Red Natura 2000 por la AEMA en el informe nº22/2019 [3], y como perjudicial para el ser humano, es del 9,4%.

Es decir, la mayor parte de la superficie de la España peninsular no se podría considerar exenta de ruido.

4.2. Nivel de ruido en espacios Red Natura 2000

Mediante el cruce del mapa de niveles Lden, y la cartografía de RN2000, se obtienen los siguientes estadísticos:

Tabla 3: Niveles de ruido en la superficie RN2000 de la España peninsular

Estadístico	dB (A)
Máximo	93,32
Mínimo	0,00
Media	28,17
Desviación STD	14,84

En la tabla nº4 se clasifican los datos de la tabla anterior en función de los rangos de ruido considerados, aportando información sobre la proporción de superficie afectada de Red Natura 2000 en cada rango.

Tabla 4: Afección por ruido de carreteras en RN2000 de la España peninsular

Rango	Superficie (miles Ha)	Superficie (%)
0 dB(A)	689,72	5,15%
0-15 dB(A)	1.880,13	14,04%
15-35 dB(A)	6.390,48	47,73%
35-55 dB(A)	3.911,56	29,21%
>55 dB(A)	517,29	3,86%
TOTAL	13.389,18	100%

Normalmente, los valores por debajo de 35 dB(A) de ruido aportado por carreteras quedarán enmascarados para el ser humano, pero pueden suponer un impacto en otras especies [11].

4.3. Superficies susceptibles de ser declaradas RSON

Aplicando el criterio de que las RSON son áreas donde el impacto del ruido antrópico es nulo, la superficie RN2000 susceptible de ser declara RSON es de 689.720 ha, equivalentes al 5,15% de la RN2000.

A esta superficie se podría añadir, como zona de amortiguación, el perímetro de los polígonos resultantes, que están afectados por menos de 15 dB(A) de ruido de carreteras, equivalentes a 1.880.128 ha (14,04 % de la Red). La superficie resultante, en este caso, se eleva a 2.569.848 ha (19,19% de la Red). El resto de la RN2000 (80,81%) no estaría exenta de ruido con potenciales impactos ambientales.

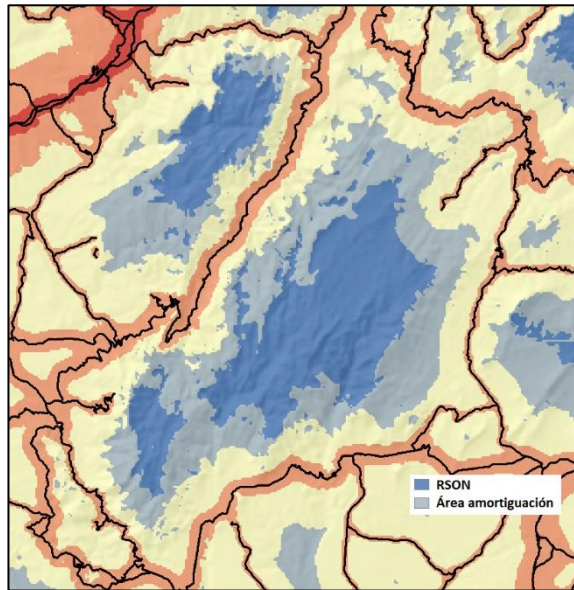


Figura 4: Ejemplo de RSON con área de amortiguación

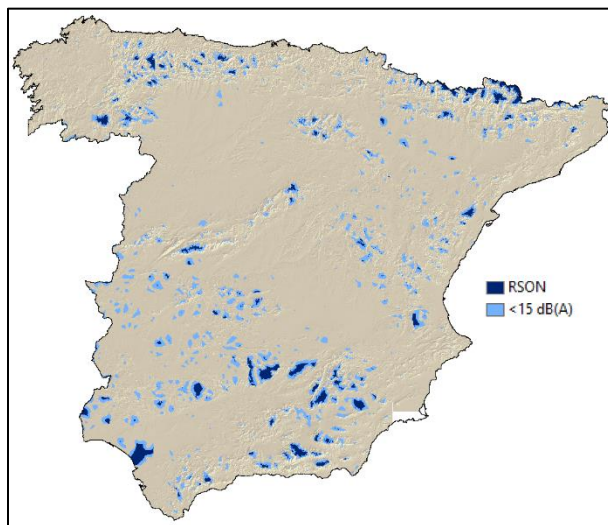


Figura 5: Potenciales zonas RSON en la España peninsular, y áreas con $L_{den} < 15$ dB(A) de ruido de carreteras.

5. DISCUSIÓN

La evaluación de la afección por ruido en grandes superficies es compleja [5]. A las limitaciones del presente trabajo, que se refieren en el epígrafe 7, hay que añadir las limitaciones de acceso a la información, o la determinación de cuál debe ser el alcance del estudio.

En este caso merece la pena referirse a los trabajos “*Good practice guide on quiet areas* [5]” y “*Quietness Suitability Index (QSI) and Natura 2000* [4]” realizados por la Agencia Europea del Medio Ambiente.

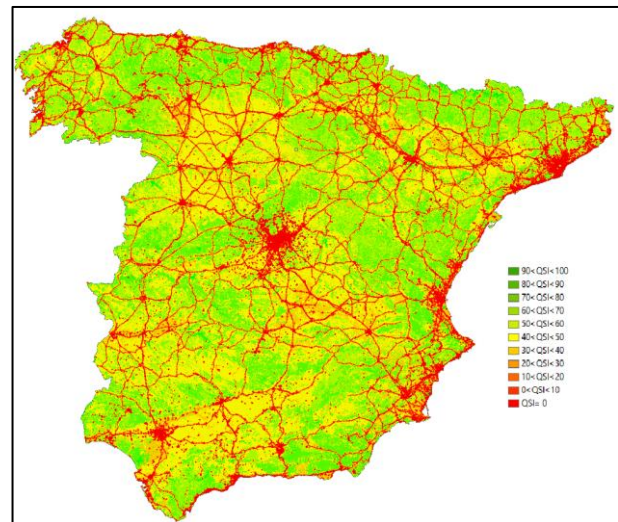


Figura 6: QSI de la España peninsular

En estos trabajos se clasifica el territorio europeo en función del índice QSI (Quietness Suitability Index), a partir de análisis de proximidad de fuentes de ruido. Los valores de QSI van desde 100 (calidad excelente), hasta 0 (calidad nula). Los datos geospaciales están disponibles⁶.

Si analizamos estos datos en las superficies declaradas RN2000 en el ámbito de este estudio, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5: Valores de QSI en la Red Natura 2000 de la España peninsular

Rango QSI	Superficie (miles Ha)	Superficie (%)
QSI < 50	4.369,02	32,66%
QSI > 50	9.007,57	67,34%
QSI > 70	4.521,32	33,80%
QSI > 90	273,17	2,04%

Las superficies que el EEA Report No 22/2019 [3] considera que se encuentran afectadas por ruido elevado son

⁶ <https://sdi.eea.europa.eu/data/e9151c34-da65-48b9-a2ca-b9b835480812?path=%2F>

aquellas que presentan $QSI < 50$ (32,66% en el ámbito del presente estudio).

Gran parte del resto de la superficie de la RN2000 (67,34%) coincide con ámbitos que, de acuerdo al mapa de niveles L_{den} obtenido, y los criterios expuestos en el apartado 3.5, se encontrarían afectadas por niveles de L_{den} entre 35 y 55 dB(A) que, atendiendo a diversos estudios [11], [12], [28]–[33], son perjudiciales para la biodiversidad, y causan un impacto en los espacios que se declaran para la protección de determinadas especies de fauna.

En cuanto a la declaración de RSON, las áreas con QSI excelente (>90) suponen un 2,04% del territorio RN2000, frente al 5,15% calculado a partir de L_{den} . Las áreas que podríamos considerar, a partir de QSI , como zonas de amortiguación ($QSI > 70$), suponen una superficie mucho mayor que las consideradas con criterios de modelización (33,80% con QSI , frente al 14,04% con mapa de L_{den}).

En cuanto al alcance de los trabajos y la complejidad de los datos para la determinación del efecto del ruido en espacios protegidos, el nivel de detalle es importante [31].

Los trabajos tendentes al cálculo del QSI han tenido en cuenta menos ejes viarios que en el presente estudio, si bien se han tenido en cuenta más tipos de fuentes de ruido (aglomeraciones y otros modos de transporte).

No obstante, la menor densidad de la red de carreteras considerada para QSI puede conllevar la infraestimación del efecto del ruido en los espacios protegidos, como se puede observar en la figura nº7. Esto es debido a que las fuentes de ruido viario son las más importantes en volumen y afección en el ámbito de END [3].

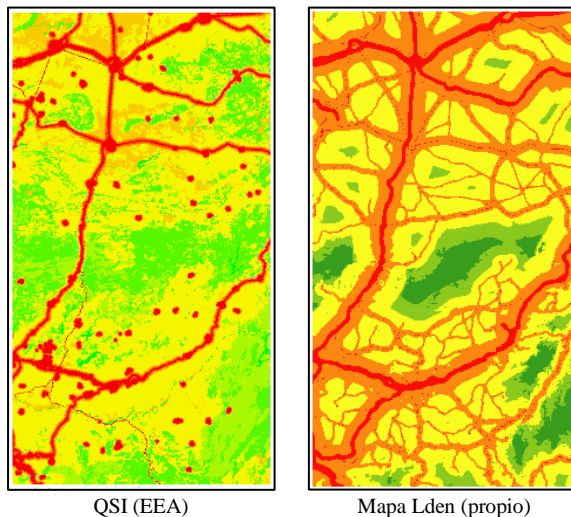


Figura 7: Diferencias debidas a la densidad de la red de carreteras considera en QSI (EEA) y el presente trabajo.

Esta infraestimación podría explicar las diferencias antes indicadas. Por otro lado, tener en cuenta más tipos de fuentes de ruido, en el caso del QSI , también puede explicar que las

áreas de muy alta calidad con este criterio sean de menor tamaño, en particular por la existencia de pequeños asentamientos, considerados como fuentes de ruido en el cálculo de QSI .

No obstante, los resultados obtenidos por ambas metodologías son compatibles. Los propios autores del índice QSI para Europa apuntan la conveniencia de combinar los resultados con mapas de isófonas, para incrementar la precisión de los resultados [34].

6. CONCLUSIONES

Existe un consenso generalizado en la comunidad científica, y en las autoridades ambientales, en relación a los efectos del ruido en la biodiversidad y en los espacios protegidos, y la necesidad de evaluar y gestionar este impacto.

Disponemos de instrumentos adecuados en la legislación española para trabajar en la gestión del ruido ambiental en espacios protegidos, como son las AG y las RSON. Incluso, algunas comunidades autónomas, como es el caso de Cataluña, disponen de instrumentos propios, que ya están aplicando.

Aunque se dispone de dichos instrumentos, es necesario avanzar en su definición y aplicación, bien mediante una mejor y más extensa regulación, bien mediante la elaboración, por parte de las autoridades competentes, de guías técnicas que establezcan criterios homogéneos y adecuados.

El efecto del ruido, en particular el proveniente de las infraestructuras de transporte viario, es relevante en los espacios protegidos de España, y puede afectar a la biodiversidad, siendo un factor a tener en cuenta en la gestión del medio natural, y de las propias infraestructuras.

La evaluación precisa de dichos efectos, así como la delimitación de zonas exentas de impacto (RSON), es compleja, y debe abordarse con diferentes enfoques, metodologías, y a diferentes escalas, desde una evaluación global a gran escala, como la presentada en este trabajo, a estudios de detalle, para la definición precisa de estas zonas.

Un enfoque acústico predictivo, a partir de métodos de cálculo estandarizados y modelos informáticos, puede ser una metodología apropiada para este tipo de estudios y, su combinación con otras metodologías puede arrojar resultados válidos que permitan un mejor conocimiento y apoyen en la gestión medioambiental del ruido en España.

Esta mejor gestión del ruido en espacios protegidos ayudaría a la consecución de los objetivos de los planes y estrategias de biodiversidad europeo y español [35].

7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La metodología de evaluación de la afeción por ruido en grandes extensiones del territorio, aplicada en el presente trabajo, es una de las posibles [5], y no está exenta de limitaciones.

Concretamente, el mapa obtenido en este estudio presenta una elevada incertidumbre, debido a que:

- No se han tenido en cuenta todas las fuentes de ruido que afectan a los espacios protegidos (ruido aeronáutico, ferroviario, usos tradicionales, ocio en el medio natural...)
- No se han considerado la totalidad de carreteras existentes en España.
- Posibles errores en la asignación automática de tráfico a cada carretera.
- No consideración de obstáculos (edificios, pantallas...)
- No consideración de todos los elementos de las infraestructuras viarias (viaductos, túneles).
- Limitaciones e incertidumbres del método de cálculo.
- Imprecisiones debidas a la escala de trabajo.
- Consideración de índices de ruido ponderados a la audición humana (ponderación A).

Este trabajo debe considerarse una aproximación inicial al problema, que necesita un desarrollo amplio. No obstante, a pesar de las limitaciones indicadas, y en términos macroscópicos, puede arrojar luz sobre la situación actual de la afeción por ruido a los espacios protegidos y la biodiversidad en España, y la necesidad de evaluarla en profundidad, y desarrollar los instrumentos que la legislación española prevé.

8. PRÓXIMOS TRABAJOS

Es necesario avanzar en esta materia, mediante el perfeccionamiento del modelo acústico, con tareas como conseguir una mejor asignación de tráfico, considerar toda la red de carreteras, incluir otros modos de transporte, o reducir el tamaño de cuadrícula de la malla de cálculo.

Sin embargo, es posible que el modelo acústico, por sí mismo, sea insuficiente para llegar a un nivel de detalle adecuado, por lo que la metodología debería completarse con la combinación con otras técnicas, incluida la metodología QSI, consideración de las unidades de paisaje, o la participación de paneles de expertos.

En cualquier caso, no debe perderse de vista que los estudios a gran escala no persiguen una definición en detalle, sino una visión de conjunto, y el alcance debe ajustarse al objetivo buscado.

9. AGRADECIMIENTOS

A Miguel Ángel González García (*Jefe de Área de la Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*), y a Javier Cachón de Mesa (*Director del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX*), por su apoyo e importantes aportaciones técnicas.

10. REFERENCIAS

- [1] R. Guski, D. Schreckenberg, and R. Schuemer, "WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 14, no. 12, p. 1539, Dec. 2017, doi: 10.3390/ijerph14121539.
- [2] M. Z. Zurilla, "Ruido y medio natural. Especial referencia a los espacios naturales protegidos," *Revista de la Escuela Jacobea de Posgrado <http://revista.jacobea.edu.mx>*, (18), 79-92., 2020, Accessed: Aug. 20, 2022.
- [3] E. Peris, "EEA Report No 22/2019. Environmental noise in Europe: 2020," *Eur. Environ. Agency*, 1, 104., 2020, Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>
- [4] European Environmental Agency, "Quietness Suitability Index (QSI) and Natura 2000," 2016. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/quietness-suitability-index-qs-and-1> (accessed Aug. 30, 2023).
- [5] European Environment Agency, "EEA Report No 4/2014. Good practice guide on quiet areas," 2014. Accessed: Aug. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-quiet-areas>
- [6] I. García Pérez, ; Karmele Herranz, ; Enrique Rincón, and G. Zugazagoitia, "Aproximación metodológica para la identificación de zonas tranquilas y reservas de sonido de origen natural: ejemplos prácticos," *Tecniacústica 2009, Vol. 12, 2009 (Comunicaciones. Ruido. Sus efectos y control)*, ISBN 84-87095-17-8, 2009.
- [7] C. Merchán Iglesias, "Guía para la caracterización de Reservas de Sonido de Origen Natural," *CONAMA 2016*, 2016, Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: www.conama2016.org
- [8] L. Casado Casado, "Prevención y corrección de la contaminación acústica," *Comentario a la Ley del ruido : Ley 37/2003, de 17 de noviembre, 2004*, ISBN 84-470-2185-8, págs. 207-244, pp. 207-244, 2004.
- [9] Diputación Foral de Bizkaia, "Guía Técnica para la integración de la gestión del ruido en el planeamiento estructural: Zonificación Acústica. Aplicación del Decreto 213/2012 sobre contaminación acústica en la CAPV.," 2014.

- [10] J. M. Grijota Chousa, "Pautas para la gestión de la contaminación acústica sobre fauna y espacios naturales protegidos," *Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura*. 2014. Accessed: Aug. 27, 2023. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/14613>
- [11] I. Soto Molina, F. Robledano Aymerich, P. Rivera Gallego, and R. Arce Ruiz, "Conveniencia de desarrollo normativo y metodológico de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en cuanto a las áreas acústicas tipo g 'espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica,'" Elche (España): Congreso Tecni-Acústica 2022, 2022.
- [12] C. D. Francis and J. R. Barber, "A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority," *Front Ecol Environ*, vol. 11, no. 6, pp. 305–313, Aug. 2013, doi: 10.1890/120183.
- [13] C. D. Francis, C. P. Ortega, and A. Cruz, "Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions," *Current Biology*, vol. 19, no. 16, pp. 1415–1419, Aug. 2009, doi: 10.1016/j.cub.2009.06.052.
- [14] A. Martínez-Abraín, D. Oro, J. Jiménez, G. Stewart, and A. Pullin, "A systematic review of the effects of recreational activities on nesting birds of prey," *Basic Appl Ecol*, vol. 11, no. 4, pp. 312–319, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.baae.2009.12.011.
- [15] L. Runko Luttenberger, M. Slišković, I. Ančić, and H. Ukić Boljat, "Environmental Impact of Underwater Noise," *Pomorski zbornik*, (4), pp. 45–54, 2022.
- [16] E. Bocher, G. Guillaume, J. Picaut, G. Petit, and N. Fortin, "NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 8, no. 3, p. 130, Mar. 2019, doi: 10.3390/ijgi8030130.
- [17] UMRAE - Lab-STICC, "Noise Modelling software Scientific production," 2022. https://noisemodelling.readthedocs.io/en/latest/Scientific_production.html (accessed Aug. 24, 2023).
- [18] Direction Départementale des Territoires du Rhône, "Cartes de bruit stratégiques des infrastructures routières É. 4," 2023. <https://carto2.geo-ide.din.developpement-durable.gouv.fr/frontoffice/?map=c022b498-59db-4369-90d9-efbb222b8e50> (accessed Aug. 29, 2023).
- [19] P. Aumond *et al.*, "Strategic noise mapping in France to 2023: Coupling a national database with the open-source software NoiseModelling," Aug. 2022.
- [20] MITMA. Dirección General de Carreteras, "Mapas de tráfico de la Red de Carreteras del Estado," 2019. <https://mapas.fomento.gob.es/mapatrafico/2019/> (accessed Aug. 29, 2023).
- [21] MITMA. Instituto Cartográfico Nacional, "Centro Nacional de Descargas," *Base Cartográfica Nacional*.
- [22] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), "Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure," 2006.
- [23] K. Stylianos, P. Marco, and A.-L. Fabienne, "Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)," European Commission, 2012. doi: <https://doi.org/10.2788/32029>.
- [24] A. Kok and A. van Beek, "Amendments for CNOSSOS-EU: Description of issues and proposed solutions," Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, 2019. doi: 10.21945/RIVM-2019-0023.
- [25] ISO 9613-2, "Acústica-Atenuación del sonido cuando se propaga en el ambiente exterior, Parte 2: Método general de cálculo," *Serie de normas ISO de la Organización de Estandarización Internacional*. 1996.
- [26] K. Larsson, "Updated Road Traffic Noise Emission Models in Sweden," in *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise16, Hamburg GERMANY, pages 6841-7829, pp. 7180-7191(12)*, Institute of Noise Control Engineering.
- [27] MITECO, "Infraestructura de Datos Espaciales del MITECO." <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide.html> (accessed Aug. 30, 2023).
- [28] R. D. Alquezar and R. H. Macedo, "Airport noise and wildlife conservation: What are we missing?," *Perspect Ecol Conserv*, vol. 17, no. 4, pp. 163–171, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.pecon.2019.08.003.
- [29] C. Iglesias-Merchán, L. Diaz-Balteiro, and J. de la Puente, "Road traffic noise impact assessment in a breeding colony of cinereous vultures (*Aegypius monachus*) in Spain," *J Acoust Soc Am*, vol. 139, no. 3, pp. 1124–1131, Mar. 2016, doi: 10.1121/1.4943553.
- [30] J. Newport, D. J. Shorthouse, and A. D. Manning, "The effects of light and noise from urban development on biodiversity: Implications for protected areas in Australia," *Ecological Management & Restoration*, vol. 15, no. 3, pp. 204–214, Sep. 2014, doi: 10.1111/emr.12120.
- [31] C. Iglesias Merchan, "Evaluación del ruido ambiental en espacios naturales protegidos: implicaciones para su gestión," Universidad Politécnica de Madrid, 2014. doi: 10.20868/UPM.thesis.30869.
- [32] M. Wright, P. Goodman, and T. Cameron, "Exploring behavioural responses of shorebirds to impulsive noise," *Wildfowl 60: 150-167.*, Dec. 2010.
- [33] S. Marasinghe, P. Perera, D. Newsome, S. Kotagama, and C. Jayasinghe, "Understanding the impact of recreational disturbance caused by motor vehicles on waterbirds: a case study from the Bundala Wetland, Sri Lanka," *J Coast Conserv*, vol. 26, no. 2, p. 6, Apr. 2022, doi: 10.1007/s11852-022-00853-8.
- [34] N. Blanes, F. Domingues, J. Fons, M. J. Ramos, and M. S. de la Maza, "Zonas tranquilas en Europa. Propuesta de índice y resultados," *Jornada "Aplicación de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental". CEDEX*. 2021.
- [35] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, *Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030*. 2022.